



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA  
LA RECIRCULACIÓN EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES DE LA  
HORMIGONERA DE LOS ANDES, PROVINCIA CHIMBORAZO”**

**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: ALVARADO VALDIVIESO KAREN GUADALUPE**

**TUTOR: ING. HUGO CALDERÓN**

Riobamba –Ecuador

2016

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo técnico: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA LA RECIRCULACIÓN EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES DE LA HORMIGONERA DE LOS ANDES, PROVINCIA CHIMBORAZO”**, de responsabilidad de la señorita Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedando autorizada su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Hugo Calderón

**DIRECTOR DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

Ing. Mónica Andrade

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

“Yo, Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico a Dios, por ser el centro de mi vida, la fuente de mis bendiciones y porque me ha enseñado que no puedo amar algo que esté fuera de Él.

A la Santísima Virgen María, quien me ha dado su protección maternal y ha guiado siempre mis pasos siendo un modelo perfecto para hacer siempre la voluntad de Dios con perseverancia y fidelidad.

A mi madre, por su sacrificio y amor incondicional, por su apoyo constante que ha permitido plasmar uno de mis objetivos

A la memoria de mi tía, quien supo ser un modelo de lucha constante a pesar de todas sus adversidades y supo brindarme su amor durante su vida.

Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por mi vida, por mi familia, por todas las bendiciones y gracias que he recibido y a la Santísima Virgen María por ser la intercesora y mi mamá celestial.

A mi madre Silvia Valdivieso por todo su sacrificio y esfuerzo, porque en el transcurso de mi vida ella me ha enseñado con su testimonio que la medida del amor es el sacrificio y sin su sacrificio no podría cumplir esta meta.

Al Ingeniero Hugo Calderón, Director del Trabajo de Titulación y a la Ingeniera Mónica Andrade, colaboradora del mismo, por sus conocimientos, sus orientaciones, paciencia y motivación y además porque han inculcado en mí un sentido de seriedad y responsabilidad

Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Páginas</b>
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Hormigón.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Especificaciones técnicas del hormigón.....</b>	<b>5</b>
<i>1.2.1 Resistencia del hormigón.....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.2 Trabajabilidad del hormigón fresco.....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.3 Velocidad de fraguado.....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.4 Peso específico.....</i>	<i>7</i>
<b>1.3 Composición del hormigón.....</b>	<b>7</b>
<i>1.3.1 Cemento.....</i>	<i>7</i>
<i>1.3.2 Árido grueso.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3.3 Árido fino.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3.3.1 Tipos de áridos finos.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3.3.2 Granulometría de los áridos.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3.4 Aditivos.....</i>	<i>9</i>
<i>1.3.5 Agua.....</i>	<i>10</i>
<b>1.4 Características del agua para fabricar hormigón.....</b>	<b>11</b>
<b>1.5 Composición del agua de mezcla.....</b>	<b>13</b>
<b>1.6 Efectos en el hormigón por el agua de mezcla.....</b>	<b>14</b>
<b>1.7 Descripción general de la producción de hormigón.....</b>	<b>16</b>
<b>1.8 Descripción de la planta de hormigón.....</b>	<b>18</b>
<b>1.9 Transporte de hormigón.....</b>	<b>20</b>
<i>1.9.1 Mixer.....</i>	<i>20</i>
<i>1.9.2 Partes del camión mixer.....</i>	<i>20</i>

<b>1.10</b>	<b>Aguas residuales</b> .....	21
<b>1.11</b>	<b>Tipos de aguas residuales</b> .....	21
<i>1.11.1</i>	<i>Aguas residuales urbanas</i> .....	21
<i>1.11.2</i>	<i>Aguas residuales industriales</i> .....	22
<b>1.12</b>	<b>Clasificación de las aguas industriales</b> .....	23
<i>1.12.1</i>	<i>Aguas procedentes de la industria cementera</i> .....	24
<i>1.12.2</i>	<i>Contaminantes de las aguas residuales en la industria cementera</i> .....	25
<i>1.12.3</i>	<i>Tratamiento de las aguas residuales en la industria cementera</i> .....	25
<b>1.13</b>	<b>Características del agua residual de la industria hormigonera</b> .....	26
<i>1.13.1</i>	<i>Características físicas</i> .....	26
<i>1.13.2</i>	<i>Características químicas</i> .....	30
<i>1.13.3</i>	<i>Características biológicas</i> .....	34
<b>1.14</b>	<b>Etapas del tratamiento de aguas en la industria hormigonera</b> .....	36
<i>1.14.1</i>	<i>Pretratamiento</i> .....	36
<i>1.14.2</i>	<i>Tratamiento primario o físico- químico</i> .....	37
<i>1.14.3</i>	<i>Tratamiento secundario o tratamiento biológico</i> .....	38
<i>1.14.4</i>	<i>Tratamiento terciario de carácter físico-químico o biológico</i> .....	39
<b>1.15</b>	<b>Tratamiento de las aguas residuales en la Hormigonera de los Andes</b> .....	40
<i>1.15.1</i>	<i>Sedimentación primaria</i> .....	40
<i>1.15.1.1</i>	<i>Tanques de sedimentación</i> .....	41
<i>1.15.1.2</i>	<i>Dimensionamiento de un sedimentador rectangular</i> .....	41
<i>1.15.2</i>	<i>Filtración Primaria</i> .....	47
<i>1.15.2.1</i>	<i>Mecanismos de remoción de un filtro</i> .....	47
<i>1.15.2.2</i>	<i>Tipos de filtración</i> .....	49
<i>1.15.2.3</i>	<i>Filtración con zeolita</i> .....	49
<i>1.15.2.4</i>	<i>Plantas de tratamiento de aguas con tecnología de zeolitas activadas</i> .....	51
<i>1.15.2.5</i>	<i>Activación de zeolitas naturales</i> .....	52
<i>1.15.2.6</i>	<i>Comparación de las zeolitas con resinas de intercambio iónico</i> .....	53
<i>1.15.2.7</i>	<i>Filtro lento de zeolita</i> .....	53
<i>1.15.2.8</i>	<i>Dimensionamiento de un filtro lento de zeolita</i> .....	53
<b>1.16</b>	<b>Deshidratación de lodos</b> .....	63
<i>1.16.1</i>	<i>Lecho de secado</i> .....	63
<i>1.16.1.1</i>	<i>Lecho de arena</i> .....	64
<i>1.16.1.2</i>	<i>Mecanismos de secado de lodos en lechos de arena</i> .....	64
<i>1.16.1.3</i>	<i>Diseño del lecho de secado</i> .....	64
<b>1.17</b>	<b>Disposición de residuos sólidos</b> .....	67

<b>1.18</b>	<b>Norma para el tratamiento del agua residual</b> .....	68
<b>1.19</b>	<b>Muestreo del agua residual</b> .....	68
<i>1.19.1</i>	<i>Muestra simple</i> .....	68
<i>1.19.2</i>	<i>Muestra compuesta</i> .....	68
<b>1.20</b>	<b>Determinación de caudales</b> .....	69
<i>1.20.1</i>	<i>Medición de caudales</i> .....	69
<i>1.20.1.1</i>	<i>Caudal</i> .....	69
<i>1.20.1.2</i>	<i>Métodos para la medición de caudales</i> .....	70
<b>2.</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL</b> .....	71
<b>2.1</b>	<b>Localización de la investigación</b> .....	71
<i>2.1.1</i>	<i>Macrolocalización</i> .....	71
<i>2.1.2</i>	<i>Microlocalización</i> .....	71
<b>2.2</b>	<b>Metodología</b> .....	72
<i>2.2.1</i>	<i>Medición de caudales</i> .....	72
<i>2.2.2</i>	<i>Metodología de trabajo</i> .....	72
<i>2.2.3</i>	<i>Tratamiento de las muestras</i> .....	72
<b>2.3</b>	<b>Muestreo</b> .....	73
<i>2.3.1</i>	<i>Recolección de la información</i> .....	73
<b>2.4</b>	<b>Métodos y técnicas</b> .....	73
<i>2.4.1</i>	<i>Métodos</i> .....	73
<i>2.4.1.1</i>	<i>Inductivo</i> .....	73
<i>2.4.1.2</i>	<i>Deductivo</i> .....	73
<i>2.4.1.3</i>	<i>Experimental</i> .....	74
<i>2.4.2</i>	<i>Técnicas</i> .....	74
<b>2.5</b>	<b>Datos experimentales</b> .....	85
<i>2.5.1</i>	<i>Producción de hormigón</i> .....	85
<i>2.5.2</i>	<i>Cantidad de agua generada</i> .....	85
<i>2.5.3</i>	<i>Situación actual</i> .....	87
<i>2.5.4</i>	<i>Caracterización de las aguas residuales</i> .....	87
<i>2.5.5</i>	<i>Análisis de resultados del agua residual</i> .....	89
<b>2.6</b>	<b>Pruebas de tratabilidad</b> .....	90
<i>2.6.1</i>	<i>Pruebas de filtración - filtro de zeolita</i> .....	90
<b>2.7</b>	<b>Reutilización del agua tratada en la elaboración del hormigón</b> .....	92
<i>2.7.1</i>	<i>Determinación de la mezcla adecuada para la elaboración de hormigón</i> .....	92
<i>2.7.2</i>	<i>Ensayo de resistencia a la compresión a los siete días</i> .....	92
<i>2.7.3</i>	<i>Ensayo de tiempo de fraguado</i> .....	94



<b>3</b>	<b>CÁLCULOS Y RESULTADOS</b> .....	95
<b>3.1</b>	<b>Cálculos</b> .....	95
<b>3.1.1</b>	<i>Determinación del caudal</i> .....	95
<b>3.1.2</b>	<i>Diseño del sedimentador</i> .....	96
<b>3.1.3</b>	<i>Diseño del tanque de filtración</i> .....	101
<b>3.1.4</b>	<i>Dimensionamiento del lecho de secado</i> .....	109
<b>3.2</b>	<b>Resultados</b> .....	112
<b>3.2.1</b>	<i>Resultados de la caracterización final físico-química del agua tratada</i> .....	112
<b>3.2.2</b>	<i>Rendimiento del sistema de tratamiento</i> .....	113
<b>3.2.3</b>	<i>Resultados del diseño ingenieril</i> .....	114
<b>3.2.3.1</b>	<i>Resultados del dimensionamiento del sedimentador</i> .....	114
<b>3.2.3.2</b>	<i>Resultados del dimensionamiento del filtro de zeolita</i> .....	114
<b>3.2.3.3</b>	<i>Resultados de dimensionamiento del lecho de secado</i> .....	115
<b>3.2.4</b>	<i>Resultados del desempeño del hormigón por el agua de mezcla</i> .....	115
<b>3.3</b>	<b>Propuesta</b> .....	116
<b>3.3.1</b>	<i>Costos de la propuesta</i> .....	117
<b>3.4</b>	<b>Análisis y discusión de resultados</b> .....	118
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	120
	<b>Conclusiones</b> .....	120
	<b>Recomendaciones</b> .....	121
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b>	Aditivos empleados en la elaboración de hormigón.....	10
<b>Tabla 2-1</b>	Criterios de calidad del agua para el hormigón.....	12
<b>Tabla 3-1</b>	Normas para el criterio de calidad del agua para el hormigón.....	12
<b>Tabla 4-1</b>	Límites químicos para el agua de mezcla- INEN 2617:2012.....	13
<b>Tabla 5-1</b>	Criterio de aceptación de aguas dudosas.....	14
<b>Tabla 6-1</b>	Efectos del agua en la calidad del hormigón.....	15
<b>Tabla 7-1</b>	Industrias según su vertido.....	23
<b>Tabla 8-1</b>	Clasificación de los contaminantes según el tipo de industrial.....	23
<b>Tabla 9-1</b>	Contaminantes asociados a la industria del cemento.....	25
<b>Tabla 10-1</b>	Niveles de intensidad de olor.....	28
<b>Tabla 11-1</b>	Rangos de pH.....	30
<b>Tabla 12-1</b>	Rangos de Alcalinidad.....	32
<b>Tabla 13-1</b>	Rangos de dureza.....	33
<b>Tabla 14-1</b>	Cargas superficiales para algunas partículas.....	42
<b>Tabla 15-1</b>	Criterios de diseño para un sedimentador rectangular.....	46
<b>Tabla 16-1</b>	Valores de las constantes empíricas a y b.....	47
<b>Tabla 17-1</b>	Tipos de filtro.....	49
<b>Tabla 18-1</b>	Comparación de medios filtrantes.....	53
<b>Tabla 19-1</b>	Criterios de diseño para filtros lentos.....	54
<b>Tabla 20-1</b>	Parámetros de diseño para drenaje por tuberías.....	58
<b>Tabla 21-1</b>	Velocidades de diseño para tuberías del filtro.....	61
<b>Tabla 22-1</b>	Tipo de lechos de secado.....	63
<b>Tabla 23-1</b>	Parámetros para el diseño de un lecho de secado de arena.....	65
<b>Tabla 1-2</b>	Determinación del pH.....	75
<b>Tabla 2-2</b>	Determinación de la conductividad.....	76
<b>Tabla 3-2</b>	Determinación de la alcalinidad total.....	77
<b>Tabla 4-2</b>	Determinación de cloruros.....	78
<b>Tabla 5-2</b>	Determinación de sólidos sedimentables.....	79
<b>Tabla 6-2</b>	Determinación de sólidos suspendidos totales.....	80
<b>Tabla 7-2</b>	Determinación de sólidos disueltos totales.....	81
<b>Tabla 8-2</b>	Determinación de sólidos disueltos totales.....	82
<b>Tabla 9-2</b>	Determinación de sólidos totales.....	83
<b>Tabla 10-2</b>	Determinación de álcalis.....	84

<b>Tabla 11-2</b>	Producción de hormigón.....	85
<b>Tabla 12-2</b>	Información para determinar la cantidad de agua generada.....	86
<b>Tabla 13-2</b>	Volumen de agua generada en el lavado de mixer.....	86
<b>Tabla 14-2</b>	Caracterización inicial de las aguas residuales industriales.....	88
<b>Tabla 15-2</b>	Parámetros físico- químicos fuera del límite máximo permisible.....	89
<b>Tabla 16-2</b>	Soluciones activadoras empleadas para la filtración.....	90
<b>Tabla 17-2</b>	Influencia de la solución activadora en el agua filtrada.....	91
<b>Tabla 18-2</b>	Información experimental de la filtración.....	91
<b>Tabla 19-2</b>	Proporciones empleadas para el agua de mezcla.....	92
<b>Tabla 20-2</b>	Dosificación de cilindros de hormigón.....	92
<b>Tabla 21-2</b>	Resultados de resistencia a la compresión a los siete días.....	93
<b>Tabla 22-2</b>	Resultados del ensayo de tiempo de fraguado.....	94
<b>Tabla 1-3</b>	Resultados comparados con la Norma NTE INEN 2617:2012.....	112
<b>Tabla 2-3</b>	Rendimiento del sistema de tratamiento de aguas.....	113
<b>Tabla 3-3</b>	Dimensiones del tanque de sedimentación.....	114
<b>Tabla 4-3</b>	Dimensionamiento del filtro de zeolita.....	114
<b>Tabla 5-3</b>	Dimensionamiento del lecho de secado.....	115
<b>Tabla 6-3</b>	Resultados del desempeño del hormigón por el agua de mezcla.....	115
<b>Tabla 7-3</b>	Inversión del sistema de tratamiento de aguas.....	117
<b>Tabla 8-3</b>	Inversión de reactivos.....	118
<b>Tabla 9-3</b>	Inversión total del sistema de tratamiento de las aguas residuales.....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1</b>	Composición del hormigón.....	5
<b>Figura 2-1</b>	Resistencia del hormigón.....	6
<b>Figura 3-1</b>	Prueba de asentamiento- cono de Abrams.....	6
<b>Figura 4-1</b>	Esquema del agregado grueso y fino.....	9
<b>Figura 5-1</b>	Efectos del agua en la calidad del hormigón.....	16
<b>Figura 6-1</b>	Diagrama de la producción del hormigón.....	16
<b>Figura 7-1</b>	Producción de hormigón.....	17
<b>Figura 8-1</b>	Batería de tolvas.....	18
<b>Figura 9-1</b>	Sistema de pesaje de áridos.....	18
<b>Figura 10-1</b>	Elevación y transporte de áridos.....	19
<b>Figura 11-1</b>	Amasadora.....	19
<b>Figura 12-1</b>	Aguas residuales.....	21
<b>Figura 13-1</b>	Sólidos sedimentables.....	27
<b>Figura 14-1</b>	Zonas del sedimentador rectangular.....	41
<b>Figura 15-1</b>	Mecanismos de filtración.....	47
<b>Figura 16-1</b>	Zeolita.....	50
<b>Figura 17-1</b>	Ventajas de la zeolita.....	50
<b>Figura 18-1</b>	Filtro de zeolita.....	54
<b>Figura 19-1</b>	Drenaje con tuberías perforadas.....	58
<b>Figura 20-1</b>	Lecho de secado de arena.....	64
<b>Figura 21-1</b>	Disposición de residuos sólidos.....	67
<b>Figura 22-1</b>	Medición de caudal- método volumétrico.....	70
<b>Figura 1-2</b>	Macrolocalización de la Hormigonera de los Andes.....	71
<b>Figura 2-2</b>	Microlocalización de la Hormigonera de los Andes.....	71
<b>Figura 3-2</b>	Situación actual.....	87
<b>Figura 1-3</b>	Vista en corte del tanque sedimentador.....	101
<b>Figura 2-3</b>	Vista en corte del tanque de filtración.....	109
<b>Figura 3-3</b>	Vista en corte del lecho de secado.....	112
<b>Figura 4-2</b>	Propuesta del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	116

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2</b>	Producción de hormigón.....	85
<b>Gráfico 2-2</b>	Volumen de agua generada en el lavado de mixer.....	86
<b>Gráfico 3-2</b>	Sólidos Totales.....	89
<b>Gráfico 4-2</b>	Cloruros.....	90
<b>Gráfico 5-2</b>	Influencia de la solución activadora en el agua filtrada.....	91
<b>Gráfico 6-2</b>	Porcentaje de resistencia alcanzado a los siete días.....	94
<b>Gráfico 7-2</b>	Resultados del ensayo de tiempo de fraguado.....	94
<b>Gráfico 1-3</b>	Caracterización final del agua tratada.....	113
<b>Gráfico 2-3</b>	Resultados del desempeño del hormigón por el agua de mezcla.....	115

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A</b>	NTE INEN 2617:2012 TABLA 1 Y TABLA 2
<b>ANEXO B</b>	TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 9
<b>ANEXO C</b>	RECOLECCIÓN DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
<b>ANEXO D</b>	CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA RESIDUAL
<b>ANEXO E</b>	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN INICIAL
<b>ANEXO F</b>	PRUEBAS DE FILTRACIÓN
<b>ANEXO G</b>	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FINAL
<b>ANEXO H</b>	ENSAYO 1: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
<b>ANEXO I</b>	ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN (7 DÍAS)
<b>ANEXO J</b>	ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN (28 DÍAS)
<b>ANEXO K</b>	ENSAYO 2: TIEMPO DE FRAGUADO
<b>ANEXO L</b>	RESULTADOS DEL ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO
<b>ANEXO M</b>	PROCEDIMIENTO PARA LA ACTIVACIÓN DE ZEOLITA
<b>ANEXO N</b>	FICHA TÉCNICA DE LA ZEOLITA
<b>ANEXO O</b>	SEDIMENTADOR
<b>ANEXO P</b>	TANQUE DE FILTRACIÓN
<b>ANEXO Q</b>	LECHO DE SECADO
<b>ANEXO R</b>	VISTA GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b><i>A<sub>s</sub></i></b>	Área superficial de la zona de sedimentación (m <sup>2</sup> )
<b><i>C<sub>s</sub></i></b>	Carga superficial (m/d)
<b><i>L<sub>s</sub></i></b>	Longitud del sedimentador (m)
<b><i>B<sub>s</sub></i></b>	Ancho del sedimentador (m)
<b><i>V<sub>s</sub></i></b>	Volumen del sedimentador (m <sup>3</sup> )
<b><i>L<sub>s</sub></i></b>	Longitud del sedimentador (m)
<b><i>v<sub>H</sub></i></b>	Velocidad horizontal (m/s)
<b><i>H<sub>s</sub></i></b>	Altura (m)
<b><i>T<sub>o</sub></i></b>	Tiempo de retención (h)
<b><i>H`</i></b>	Altura máxima del sedimentador (m)
<b><i>R<sub>ST</sub></i></b>	Remoción de sólidos (%)
<b><i>T<sub>rh</sub></i></b>	Tiempo de retención hidráulica (h)
<b><i>a, b</i></b>	Constantes empíricas
<b><i>S<sub>EL</sub></i></b>	Separación entre laterales (m)
<b><i>C<sub>U</sub></i></b>	Coefficiente de uniformidad de la zeolita (adimensional)
<b><i>T<sub>E</sub></i></b>	Tamaño efectivo de la zeolita
<b><i>A<sub>F</sub></i></b>	Área de filtración (m <sup>2</sup> )
<b><i>Q</i></b>	Caudal de Diseño (m <sup>3</sup> /d)
<b><i>T<sub>FL</sub></i></b>	Tasa de Filtración (m/d)
<b><i>N<sub>F</sub></i></b>	Número de filtros
<b><i>K</i></b>	Coefficiente de mínimo costo (adimensional)
<b><i>B<sub>F</sub></i></b>	Ancho del filtro (m)
<b><i>Z<sub>F</sub></i></b>	Altura del filtro (m)
<b><i>H<sub>CA</sub></i></b>	Altura del agua sobrenadante (m)
<b><i>H<sub>LF</sub></i></b>	Altura del lecho filtrante (m)
<b><i>H<sub>CS</sub></i></b>	Altura de la capa de soporte (m)
<b><i>H<sub>D</sub></i></b>	Altura de drenaje (m)
<b><i>V<sub>F</sub></i></b>	Volumen del filtro (m <sup>3</sup> )
<b><i>A<sub>CO</sub></i></b>	Área de cada orificio (m <sup>2</sup> )
<b><i>D<sub>O</sub></i></b>	Diámetro de los orificios (m)
<b><i>v<sub>OF</sub></i></b>	Velocidad en el orificio (m/s)
<b><i>N<sub>L</sub></i></b>	Numero de laterales, adimensional

$v_{LF}$	Velocidad de lavado
$\theta$	Tiempo de lavado (h)
$C$	Carga de sólidos (Kg/d)
$SS$	Sólidos suspendidos (mg/L)
$M_{sd}$	Masa de sólidos (Kg/d)
$Vdl$	Volumen diario del lodo (m <sup>3</sup> )
$M_{st}$	Masa de sólidos (Kg/d)
$\rho_L$	Densidad del lodo (Kg/m <sup>3</sup> )
$H_{LS}$	Altura del lecho de secado (m)
$L_{LS}$	Longitud del lecho de secado (m)
$A_{LS}$	Área del lecho de secado (m <sup>2</sup> )
$B_{LS}$	Ancho del lecho de secado (m)



## **Declaración de Autenticidad**

Yo, Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos en este Trabajo de Titulación.

Riobamba, 17 de Mayo del 2016.

Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

Cédula de Identidad. 060503462-8

## RESUMEN

Se realizó el diseño de un sistema de tratamiento de aguas para la recirculación en los procesos industriales de la Hormigonera de los Andes con el fin de reducir el impacto generado y optimizar recursos dentro de la empresa. Se realizó un muestreo simple recolectando tres muestras del agua residual por el lapso de dos semanas, las muestras fueron tomadas en la descarga de los camiones de carga de hormigón, posteriormente estas muestras fueron llevadas al Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH con el fin de realizar los respectivos análisis físico-químicos determinando los parámetros fuera de los límites permisibles en base a la Norma NTE INEN 2617:2012 Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos. En la caracterización físico-química de las muestras recolectadas se emplearon métodos normalizados: Standar Methods y método en HACH, mediante los cuales se identificaron dos parámetros físico-químicos fuera de los límites permisibles: cloruros y sólidos totales. Para reducir los parámetros fuera de norma se efectuaron cálculos de ingeniería mediante los cuales se dimensionaron los siguientes componentes: sedimentador rectangular 5,04 m<sup>3</sup>, tanque de filtración 2,87 m<sup>3</sup> y lecho de secado 2,70 m<sup>3</sup>. Para verificar la calidad del hormigón se realizaron mezclas con el agua tratada y con el agua de tanquero en diferentes proporciones, con las cuales se elaboraron cilindros de hormigón de 210 Kg/cm<sup>2</sup> obteniéndose con la mezcla del 50%, un porcentaje de resistencia a los siete días del 93,58%. De esta manera para la recirculación del agua tratada en el proceso se recomienda emplear el 50% de agua tratada de la presente investigación y el otro 50% debe ser completado con el agua que regularmente se emplea en la fabricación de hormigón con el fin de no alterar la calidad final del producto.

Palabras claves: <INGENIERÍA DE PLANTAS> <TRATAMIENTO DE AGUAS>  
<HORMIGONERA> <HORMIGÓN HIDRAULICO> <OPERACIÓN DE LAVADO>  
<CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA> <SEDIMENTADOR> <TANQUE DE FILTRACIÓN>

## ABSTRACT

A design of a water treatment system was held for recirculation in industrial processes of "Hormigonera de los Andes" in order to reduce the impact and optimize resources generated within the company. A simple sampling collecting three samples of wastewater for a period of two weeks was conducted, samples were taken at the unloading truckloads of concrete, then these samples were taken to the testing laboratory of the Faculty of Technical Sciences ESPOCH in order to perform the respective physico-chemical analysis determining the parameters outside the permissible limits based on the Standard NTE ENEN 2617:2012 hydraulic concrete. Water for mixture. Requirements. In the physico- chemical characterization of samples collected standardized methods were used: standard methods and HACH method by which two physicochemical parameters outside the permissible limits were identified: chlorides and total solids. To reduce the parameters outside of standard engineering calculations by which the following components were si/ed were made: rectangular clarifier 5.04 m<sup>3</sup>, filtration tank 2,87m<sup>3</sup> and drying beds 2,70m<sup>3</sup>. To verify the quality of the concrete mixtures were made with the treated water and the water tanker in different proportions, with which concrete cylinders of 210 kg/cm<sup>2</sup> were developed, obtained with the mixture of 50%, a percentage of resistance to 7 days of 93.58 %. Thus for the recirculation of treated water in the process it is recommended to use 50% of treated water from this research and the other 50 % must be filled with regularly water engaged in the manufacture of concrete in order not to alter the final product quality.

Key words: <PLANTS ENGINEERTNG> <WATER TREATMENT> <CONCRETE MDCER> <HYDRAULIC CONCRETE> <WASH OPERATION> <PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATION> <SEDIMENTATION TANK> <FILTRATION TANK>



## **INTRODUCCIÓN**

Dentro del sector productivo el agua desempeña un papel muy importante, siendo empleada en casi todas las actividades de la industria, de esta manera se han generado también aguas que arrastran los principales contaminantes perjudicando directamente al ambiente.

Para reducir la contaminación que estas aguas provocan al ser descargadas es necesario proporcionar un tratamiento que permita alcanzar ciertos límites establecidos con la finalidad de contrarrestar los efectos que estas provocan. Pero a más de un tratamiento previo la reutilización del agua residual tratada es una buena opción, puesto que de esta manera se reducen las descargas al ambiente y disminuyen las necesidades de entrada al proceso.

La Hormigonera de los Andes es consciente del problema que acarrea la falta de un sistema de tratamiento para las aguas que se generan dentro de la empresa, especialmente en las operaciones de lavado de los camiones de carga de hormigón, puesto que al ser descargadas dentro de la empresa estas provocan molestias a los empleados y operarios de la misma.

Evidentemente, el diseño de un sistema de tratamiento de aguas para la Hormigonera de los Andes es esencial y constituye una gran alternativa para reducir la contaminación y optimizar recursos cumpliendo con los límites permisibles establecidos en la Norma NTE INEN 2617:2012 y así obteniendo una agua óptima para la recirculación en los procesos industriales de la empresa sin que existan alteraciones del producto final.

## ANTECEDENTES

“En muchos países europeos, incluido España se utilizan equipos de reciclado de residuos en plantas de hormigón, lo que se pretende es que la generación de residuos en las plantas sea nula, para lo cual se plantea un tratamiento “in situ” de los residuos mediante unos dispositivos recicladores pasando la totalidad del residuo inerte que hoy en día se genera en la planta a formar parte del proceso productivo.”(CEDEX, 2012, p. 3)

Japón es otro país donde aproximadamente el 52% de las plantas de hormigón utilizan satisfactoriamente el agua reciclada y el 17% el agua fangosa sin tratamiento de decantación.

En nuestro país, la compañía Holcim, líder en la producción de cemento, agregados y hormigón, ubicada en la ciudad de Ambato reutiliza el agua generada específicamente en el lavado de los mixers más no en la recirculación, pero no se detallan medidas para su depuración.

Un trabajo de tesis titulado “Diseño y construcción de un sistema de reutilización del agua en la mezcla del hormigón” fue realizado por Daniel Galarza y Julio Valenzuela en Abril del 2013 en el cual se propone un sistema de filtración pues se establece la necesidad de tratar el agua antes de reutilizarla en la fabricación del hormigón verificando el cumplimiento de ciertos parámetros físico-químicos para evitar alteraciones en la calidad del hormigón. Este estudio se realizó para la HORMIGONERA J.C. VALENZUELA CIA. LTDA localizada en la ciudad de Quito.

En cuanto a nuestra Provincia, las hormigoneras existentes no poseen ningún sistema que permita tratar y reutilizar el agua industrial en el proceso, por lo cual la Hormigonera de los Andes será la primera empresa dentro de la provincia dedicada a esta actividad que cuente con un Sistema de Tratamiento de aguas para la recirculación en sus procesos.

## **JUSTIFICACIÓN**

El agua es un derecho pero también una responsabilidad que tiene un valor social, económico y ambiental, además constituye un factor muy importante dentro del desarrollo de la industria de hormigón considerándose como materia prima.

La Hormigonera de los Andes no cuenta con un tratamiento para las aguas residuales industriales generadas, afectando la calidad del suelo en donde son descargadas, el desarrollo de vida animal y vegetal, provocando además una contaminación sensorial y paisajística.

La empresa se ve comprometida con el cuidado del ambiente y con el manejo adecuado del líquido vital, por lo cual se considera necesario el “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA LA RECIRCULACIÓN EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES DE LA HORMIGONERA DE LOS ANDES, PROVINCIA CHIMBORAZO”, basándose en la Norma NTE INEN 2617:2012. Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.

Con dicho diseño se busca reducir el impacto ambiental generado al descargar el agua residual industrial sin un tratamiento previo y reutilizar el agua en el proceso.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar un sistema de tratamiento de aguas para la recirculación en los procesos industriales de la Hormigonera de los Andes, Provincia Chimborazo.

### **Específicos**

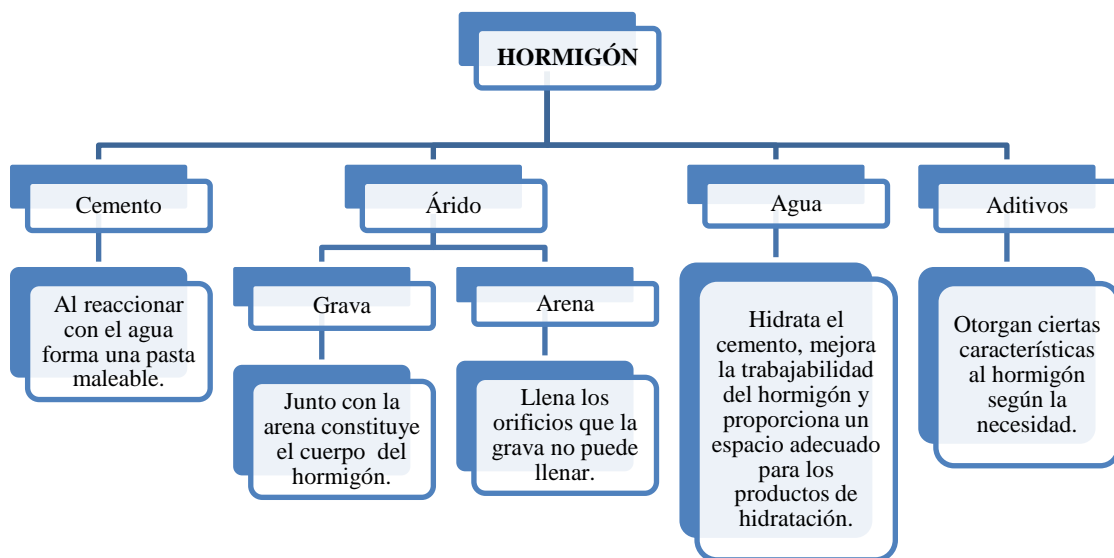
- Realizar la caracterización físico – química de las aguas industriales de la Hormigonera de los Andes tomando como base la Norma NTE INEN 2617:2012. Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.
- Identificar las variables de proceso para el diseño del sistema de tratamiento de las aguas industriales.
- Efectuar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del sistema de tratamiento.
- Validar el diseño propuesto mediante la caracterización físico – química del agua tratada en base a la Norma NTE INEN 2617:2012. Hormigón de Cemento Hidráulico. Agua para Mezcla. Requisitos. y determinar el impacto que tiene sobre la calidad del producto.
- Estimar los costos que demanda la aplicación del diseño del sistema de tratamiento de las aguas industriales.

# CAPÍTULO I

## 1 MARCO TEÓRICO

### 1.1 Hormigón

Es el producto resultante de la mezcla de cemento, árido y agua en proporciones adecuadas con la adición de aditivos específicos que proporcionan características especiales al producto.



**Figura 1-1. Composición del hormigón**

Fuente: (Concreto reforzado, 2013)

### 1.2 Especificaciones técnicas del hormigón

Las especificaciones técnicas son la base para la fabricación de hormigones, entre las propiedades más importantes están:

- Resistencia a la compresión
- Trabajabilidad del hormigón fresco
- Velocidad de fraguado
- Peso específico



### 1.2.1 Resistencia del hormigón

Es la capacidad que tiene el hormigón para soportar grandes pesos sin fragmentarse. La resistencia del hormigón depende en mayor grado de la relación agua/cemento, así la resistencia incrementa si aumenta la cantidad de cemento y disminuye si aumenta la cantidad de agua.

La resistencia a la compresión del hormigón generalmente se la realiza a los 28 días, sin embargo pueden considerarse tiempos menores o mayores a esos días dependiendo del tipo de estructuras como túneles y presas o cuando se emplean cementos especiales.



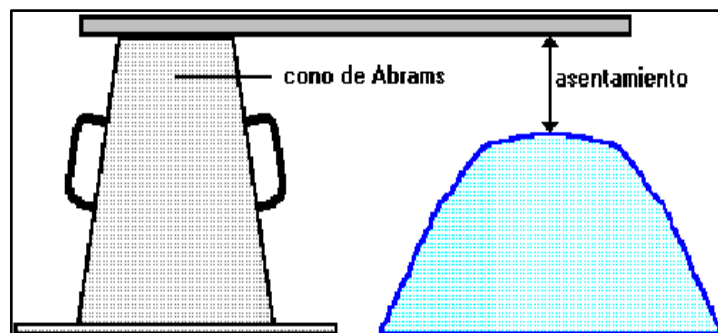
**Figura 2-1. Resistencia del hormigón**

Fuente: (Ensayo de compresión de cilindros, 2013)

### 1.2.2 Trabajabilidad del hormigón fresco

Es la mayor o menor facilidad que presenta un hormigón al mezclarse, transportarse y colocarse. Se puede determinar en función del asentamiento del Cono de Abrams.

Los hormigones con baja trabajabilidad presentan inconvenientes al momento de ser mezclados y compactados dentro de los moldes, lo que manifiesta una baja resistencia del producto.



**Figura 3-1. Prueba de asentamiento**

Fuente: (Diseño y fabricación de hormigones, 2014)

Los factores que intervienen en la trabajabilidad del hormigón son:

- El método y la duración del transporte
- Cantidad y características de los materiales cementantes
- Consistencia del hormigón ( asentamiento en cono de Abrams)
- Tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos
- Aire incluido (aire incorporado)
- Cantidad de agua
- Temperatura del hormigón y del aire
- Aditivos (*“Notas de concreto”, 2009*)

### ***1.2.3 Velocidad de Fraguado***

Se define como la velocidad en la cual el cemento y el agua reaccionan químicamente generando calor y dando origen a diferentes compuestos que actúan en la pasta de cemento provocando que esta se endurezca y aglutine al agregado de la mezcla de hormigón, obteniéndose así un producto fuerte y denso.

Según las características que se desee conseguir en un hormigón, se puede acelerar o retardar el fraguado mediante el empleo de aditivos específicos.

### ***1.2.4 Peso específico***

Es un indicador de uniformidad de la mezcla de hormigón, permite determinar cambios en el contenido de agua, cemento o en la granulometría de los áridos al igual que la consistencia. Según la necesidad de obtener un hormigón pesado o ligero se requerirá también el empleo de agregados ligeros o pesados respectivamente.

## **1.3 Composición del hormigón**

### ***1.3.1 Cemento***

El cemento es un conglomerante hidráulico constituido por caliza y arcilla calcinadas y molidas, tiene la capacidad de endurecerse al entrar en contacto con el agua. Generalmente para la elaboración del hormigón se suele utilizar el cemento Portland, un polvo muy fino de color gris formado básicamente de silicatos de calcio y de aluminio.

### **1.3.2 Árido Grueso**

Se considera como árido grueso a la grava, este material es duro y resistente por lo que proporciona las mismas características al hormigón, debe estar libre de materiales extraños o de polvo, su forma debe ser aproximadamente cúbica evitando rocas alargadas o aplanadas.

Los áridos más empleados para obtener un hormigón de buena calidad son los siguientes:

- Áridos de tipo silíceo (gravas)
- Machaqueo de rocas volcánicas como basalto, andesita
- Calizas sólidas y densas

Además se debe evitar el empleo de áridos procedentes de calizas blandas, feldespatos, yesos, piritas o rocas porosas.

### **1.3.3 Árido fino**

El árido fino puede consistir en arena natural, arena de trituración o una mezcla de ambas. (NTE INEN 0872:2011)

#### **1.3.3.1 Tipos de áridos finos**

*Arenas de río:* son las más empleadas para la elaboración de hormigón por ser las mejores, están formadas por cuarzo puro.

*Arena de mina:* presenta arcilla en exceso por lo que es necesario lavarla antes.

*Arenas de mar:* este tipo de arena es limpia, pero antes de emplearla es necesario lavarla con agua dulce.

*Arenas de machaqueo de granitos, basaltos o rocas análogas:* Estas arenas suelen ser excelentes siempre y cuando las rocas de las cuales se originan sean sanas y no generen descomposición.

#### **1.3.3.2 Granulometría de los áridos**

Los áridos se encuentran formados por una variedad de granos de diferentes tamaños los cuales intervienen en la calidad del hormigón, es por ello que es necesario realizar un estudio de

granulometría de los áridos, el cual generalmente se evalúa realizando una curva granulométrica y se determina cribando el árido a través de una serie de cribas y tamices.

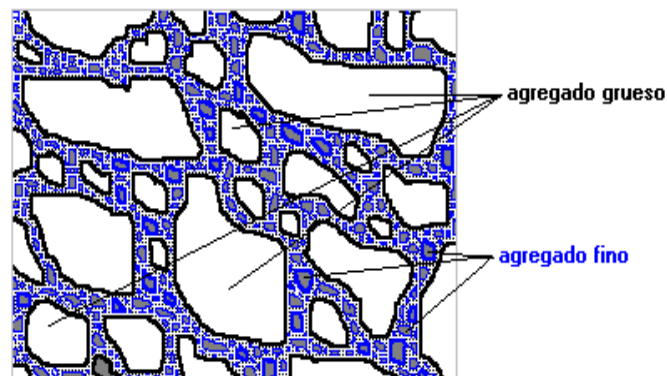
Cabe señalar, que no es posible establecer de una manera general una curva granulométrica óptima única puesto que en cada caso se deben considerar varios factores como las resistencias y propiedades exigidas al hormigón, los medios de transporte, puesta en obra y compactación del hormigón, las propiedades y forma de los granos, el tipo y dimensiones del elemento estructural, entre otros.

Existen tres parámetros básicos que determinan las características granulométricas de un árido:

- Tamaño máximo del árido
- Compacidad
- Contenido de granos finos

Se debe considerar que mientras mayor sea el tamaño máximo del árido, el consumo de cemento y agua será menor para la elaboración del hormigón.

Pero el tamaño máximo del árido está limitado por las dimensiones de los elementos estructurales y separación entre armaduras, interviniendo también los medios de amasado y puesta en obra del hormigón.



**Figura 4-1. Esquema del agregado grueso y fino**

Fuente: *(Fundamentos del hormigón simple, 2015)*

#### **1.3.4 Aditivos**

Son aquellos productos que se agregan al hormigón fresco con la finalidad de mejorar algunas de sus características, facilitar la puesta en obra y regular su tiempo de fraguado y endurecimiento.

En la Tabla 1-1 se describen los diferentes tipos de aditivos empleados en la elaboración de hormigón.

**Tabla 1-1:** Aditivos empleados en la elaboración de hormigón

Tipo de aditivo	Descripción
Inhibidor	Se emplea cuando se desea impedir el proceso de fraguado del cemento, entre los principales inhibidores están los azúcares y compuestos cálcicos solubles.
Retardante	Se emplea para retardar el fraguado, generalmente son lignosulfatos o hidratos de carbono, su empleo es delicado puesto que si se usan en dosis incorrectas, pueden inhibir el fraguado y endurecimiento del hormigón.
Acelerante	Se emplea para acelerar su fraguado o el endurecimiento del mismo, generalmente cuando se desea reducir el tiempo de desmoldado o desencofrado y además se busca contrarrestar los efectos del frío. El acelerador más empleado en el mercado es el cloruro cálcico (Ca Cl <sub>2</sub> ) para cementos tipo Portland.
Plastificante	Se emplean para incrementar la docilidad y trabajabilidad del hormigón, permiten reducir la cantidad de agua que se encuentra en el hormigón con el fin de mejorar su resistencia. En general, el empleo de plastificantes mejoran las propiedades del hormigón, tanto en hormigones frescos como en endurecidos.
Impermeabilizante	Se emplea para impedir el paso del agua a través del hormigón, se los emplea en el revestimiento de piezas y objetos que deben ser conservados secos. Actúan eliminando o reduciendo la porosidad del material, rellenando filtraciones y bloqueando la humedad del medio. Pueden tener origen natural o sintético, orgánico o inorgánico. Dentro de los naturales destaca el aceite de ricino y, dentro de los sintéticos, el petróleo.

Fuente: (Rivera, G., s.f.)

### 1.3.5 Agua

En la fabricación del hormigón al agua se la conoce como agua de mezclado, se la denomina así porque es el agua que se emplea en la elaboración del hormigón premezclado más la humedad superficial que procede de los agregados empleados.

El agua es un componente esencial para las mezclas de hormigón, interviniendo directamente en la hidratación del cemento (desarrollando su capacidad ligante) e incrementando la fluidez de la pasta actuando como lubricante de los agregados.

La cantidad de agua empleada para la elaboración del hormigón debe ser adecuada, puesto que si está en exceso se evapora y produce un sinnúmero de agujeros en el hormigón los cuales afectan la resistencia, por otro lado no debe reducirse excesivamente la cantidad de agua a la mezcla ya que la pasta obtenida será poco trabajable y de dificultosa colocación en obra.

Es importante señalar que uno de los factores que determinan la resistencia del hormigón es la relación agua/cemento, la reacción química que se lleva a cabo entre el cemento y el agua produce la propiedad de liga de la pasta de cemento, además aproximadamente por cada litro de agua añadida en exceso a la pasta de hormigón se reducen dos kilogramos de cemento.

Aproximadamente el 90% de cemento está constituido por silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y aluminato férrico tetracálcico. Los dos silicatos de calcio antes mencionados representan el 75% de cemento y reaccionan con el agua para formar hidróxido de calcio y silicato de calcio hidratado.

El silicato de calcio constituye el componente cementante más importante del hormigón, ya que en él radica la resistencia del concreto.

#### **1.4 Características del agua para fabricar hormigón**

En general, se ha considerado que cualquier agua potable es apta para elaborar hormigón, de esta manera enfocándonos en las características físicas que el agua debe presentar para la elaboración del hormigón debe estar libre de olores fuertes y no debe presentar colores oscuros.

En cuanto a las características químicas, el agua para fabricar hormigón debe cumplir con ciertos límites con respecto a sustancias como cloruros, sulfatos, álcalis, sales inorgánicas, ácidos, materia orgánica o sedimentos los cuales pueden interferir en la hidratación del cemento, producir modificaciones del tiempo de fraguado, reducir la resistencia mecánica, causar manchas en la superficie del hormigón y aumentar el riesgo de corrosión de las armaduras.

Los límites propuestos en la literatura para la calidad del agua de mezcla para hormigón son muy amplios y la información disponible no proporciona un criterio único de evaluación como se muestra en la Tabla 2-1.

**Tabla 2-1:** Criterios de calidad del agua para el hormigón

Característica	Unidades	IRAM 1601	DIN 4030	NTC 3959	Norma UNE	ASTM C- 94
Alcalinidad	mg/L	840		1000		
Cloruros	mg/L	1000	500	500	6000	1000
Cobre	mg/L					
Dióxido de carbono	mg/L	24	15			
DQO	mg/L					
Hierro	mg/L	1				
Magnesio	mg/L		300			
Manganeso	mg/L					
Amonio	mg/L		15			
Ph		5,8-8,0	>6,5		>5	
Plomo	mg/L					
Sólidos suspendidos	mg/L					
Sólidos totales	mg/L	5000		2000	15000	50000
Sulfatos	mg/L	600	200	1200	1000	3000
Sustancias orgánicas solubles en éter	mg/L					

Fuente: (Romero, 2002, p.351)

En la Tabla 3-1 se hace referencia las diferentes normas antes mencionadas.

**Tabla 3-1:** Normas para el criterio de calidad del agua para el hormigón

Norma	
IRAM	Instituto Argentino de Normalización y Certificación
DIN	Instituto Alemán de Normalización
NTC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
UNE	Una Norma Española
NOM C	Norma Oficial Mexicana
ASTM	American Society for Testing Materials

Realizado por: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

En nuestro país el criterio de aceptación del agua para elaboración de hormigón con respecto a los límites químicos está basado en la Norma NTE- INEN 2617:2012. Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.

En la Tabla 4-1 se presentan los límites químicos establecidos para el agua de mezcla.

**Tabla 4-1:** Límites químicos para el agua de mezcla-INEN 2617:2012

Parámetros	Unidades	Límites INEN 2617:2012
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	500
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	mg/L	3000
Álcalis (Na <sub>2</sub> O+0.658 K <sub>2</sub> O)	mg/L	600
Sólidos totales	mg/L	50000

Fuente: NTE- INEN 2617:2012. Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.

Los requisitos de calidad del agua de mezclado para la elaboración de hormigón no tienen ninguna relación con el aspecto bacteriológico (como es el caso de las aguas potables), sino que básicamente se refieren a sus características físico-químicas y a sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del hormigón. (Mendoza et al., 2011:pp.34-35)

### 1.5 Composición del agua de mezcla

El agua de mezcla puede estar compuesta por:

- Agua de dosificación, que es el agua cuya masa ha sido determinada en una planta dosificadora.
- Hielo
- Agua añadida por el conductor del camión
- Humedad libre de áridos, y
- Agua de constitución de los aditivos, cuando ésta incrementa la relación agua – material cementante en más de 0,01. (NTE INEN 2617:2012)

Por otro lado, se permite el uso de agua de mezcla que esté compuesta total o parcialmente por fuentes de agua no potable o de las operaciones de producción de hormigón en cualquier proporción hasta que cumpla con los límites de calificación de los requisitos de la Tabla 5-1. (NTE INEN 2617:2012).



**Tabla 5-1:** Criterio de aceptación de aguas dudosas

Ensayos	Límites	Unidades	Criterio	Descripción
Resistencia a la compresión	90	%	Mínimo de control a los 7 días	Para fabricar hormigón se puede emplear cualquier agua que produzca cubos de mortero con resistencia a los siete días, igual o por lo menos el 90% de la resistencia de cubos testigos hechos con agua potable o destilada.
Tiempo de fraguado	Desde 1:00 antes Hasta 1:30 después	h:min	Desviación con respecto a la muestra testigo	Para la elaboración de hormigón se puede emplear cualquier agua que presente una desviación desde 1:00 hora antes hasta 1:30 después, con respecto a la muestra elaborada con el agua normalmente empleada (generalmente potable o destilada).

Fuente: NTE- INEN 2617:2012. Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.

### 1.6 Efectos en el hormigón por el agua de mezcla

Se ha afirmado que las aguas de muy mala calidad pueden afectar a la resistencia esperada del hormigón y el tiempo de fraguado, además pueden causar eflorescencia, manchado, corrosión del refuerzo y menor durabilidad.

A continuación en la Tabla 6-1 se presentan los principales efectos en la calidad del hormigón que pueden ser provocados por el agua de mezcla.

**Tabla 6-1:** Efectos del agua en la calidad del hormigón

Causas	Efectos					Explicación
	Alteraciones en el fraguado	Alteraciones en la resistencia	Efecto corrosivo sobre el acero de refuerzo	Reacciones expansivas potenciales y deterioro del hormigón	Deformación de las estructuras, fisura en forma de Y	
<b>pH &lt; 5</b>	x	X				El pH adecuado para la elaboración del hormigón debe ser mayor o igual a 5, caso contrario se producirán alteraciones en el fraguado y resistencia del hormigón.
<b>Concentración de cloruros mayor a 500 ppm</b>		X	x			Un alto contenido de cloruros (> 500 ppm) tiene un efecto corrosivo sobre el acero de refuerzo al atacar su capa de óxido protectora y además reduce la resistencia del hormigón.
<b>Concentración de sulfatos mayor a 3000 ppm</b>		X		x		Un elevado contenido de sulfatos (> 3000 ppm) provoca reacciones expansivas potenciales y un deterioro del hormigón, estos efectos son mayores cuando el hormigón es expuesto a suelos o aguas con un alto contenido de sulfatos.
<b>Concentración de álcalis mayor a 600 ppm</b>	x				x	Un alto contenido de álcalis (>600 ppm) influye en las reacciones normales de fraguado, expansión y deformación de las estructuras, fisura en forma de Y con la presencia de gel en el hormigón.
<b>Presencia de impurezas orgánicas</b>	x	X				Las sustancias orgánicas presentes en el agua tienen un efecto sobre el tiempo de fraguado del cemento portland y sobre la resistencia final del hormigón, considerándose un problema muy complejo.
<b>Presencia de azúcar</b>	x					El azúcar en una pequeña cantidad, del 0.03 al 0.15% en peso de cemento, puede retardar el fraguado del cemento, cabe señalar que el tiempo de fraguado también depende del tipo de cemento que se esté empleando.
<b>Aguas alcalinas</b>		X				Las aguas alcalinas también tienen un efecto negativo sobre la resistencia del hormigón con algunos tipos de cemento, es por ello que debe ser evaluado en cada caso.

Realizado por: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

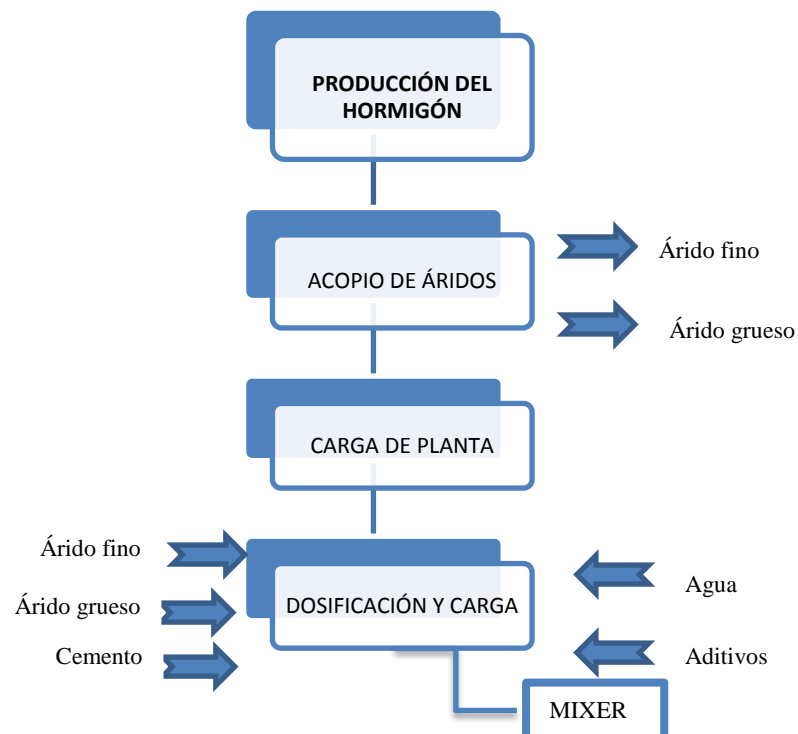


**Figura 5-1. Efectos del agua en la calidad del hormigón**

Realizado por: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

### 1.7 Descripción general de la producción de hormigón

El proceso para la producción de hormigón consta de algunas etapas entre las cuales tenemos: acopio de áridos, carga de planta, dosificación y carga.



**Figura 6-1. Diagrama de la producción de hormigón**

Realizado por: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

A continuación se detalla cada una de las etapas:

*Acopio de áridos:* La primera etapa para la elaboración de hormigón premezclado consiste en el acopio de los áridos dentro de los cuales se encuentran la arena (árido fino) y el ripio (árido grueso), los cuales son transportados desde canteras, ríos u otros hacia la planta para su posterior utilización.

*Carga de planta:* Los áridos que se encuentran almacenados son transportados hacia la tolva de alimentación mediante una máquina cargadora, los mismos que permanecen en la tolva hasta que son descargados para su posterior dosificación.

*Dosificación y carga:* La dosificación consiste en establecer proporciones adecuadas de los materiales que componen el hormigón a fin de obtener una mezcla que posea determinadas características de consistencia, compacidad, resistencia, entre otras. Una vez preparada la mezcla, los camiones mixer son cargados del producto para transportarlo hacia el lugar de su destino mientras se provee un constante amasado.

En la figura 7-1 se representa gráficamente el proceso general para la producción del hormigón.



**Figura 7-1. Producción de hormigón**

Fuente: (Márquez R., 2007)

## 1.8 Descripción de la planta de hormigón

La planta de hormigón es una instalación empleada para la fabricación del hormigón partiendo de materias primas como arena, grava, cemento y agua.

Los elementos de la planta de hormigón son:

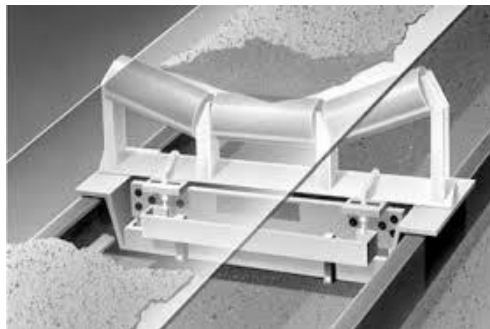
*Batería de tolvas:* Consiste en un depósito de gran capacidad en el cual se almacena tanto el árido grueso como el árido fino que serán empleados para la elaboración del hormigón premezclado.



**Figura 8-1. Batería de tolvas**

Fuente: (Tolvas dosificadoras, 2013)

*Sistema de pesaje de áridos:* Es el sistema que permite una correcta dosificación del árido mediante el peso de la cantidad programada, generalmente se emplea un sistema de cinta pesadora que pesa los diferentes tipos de árido por adición dentro de un mismo ciclo de pesaje.



**Figura 9-1. Sistema de pesaje de árido**

Fuente: (Básculas de cinta, s.f.)

*Sistema de elevación y transporte de áridos:* Para elevar y transportar los áridos se emplean cintas transportadoras, puesto que es un sistema fiable y con menor mantenimiento.



**Figura 10-1. Elevación y transporte de áridos**

Fuente: Hormigonera de los Andes

*Silos de cemento:* Es una construcción diseñada para el almacenamiento del cemento, su capacidad puede variar de 30 a los 1000 m<sup>3</sup>, estos silos incorporan sistemas de filtrado de cemento, válvulas de seguridad de sobrepresión, sistemas de niveles de cemento y sistemas fluidificadores para evitar la aparición de bóvedas en la masa de cemento almacenado,

Además la extracción del cemento se realiza mediante alimentadores alveolares o directamente por gravedad, además para transportar el cemento se emplea el transportador de tornillo sin fin.

*Sistema de pesaje de agua:* Este sistema consta de una báscula o tolva pesadora con células de carga incorporadas, una alternativa más económica es el contador de agua, que realiza una medición volumétrica.

*Amasadora:* Es el elemento empleado para mezclar todos los componentes del hormigón con el fin de otorgar homogeneidad a la mezcla. Dependiendo del tipo de hormigón, de su viscosidad, del nivel de homogeneización, del tamaño de los áridos, se empleará el tipo de amasadora. Los principales tipos de amasadoras son: de doble eje horizontal, de eje vertical, planetario, de tambor y continuo.



**Figura 11-1. Amasadora**

Fuente: (Mezclado de concreto, s.f.)

## **1.9 Transporte de hormigón**

El hormigón una vez fabricado debe ser transportado inmediatamente al lugar de su destino, para ello se suelen emplear unos camiones que proveen un mezclado continuo del hormigón llamados mixer.

### ***1.9.1 Mixer***

El camión mixer es conocido también como camión-hormigonera, camión mezclador o agitador. Este es un camión equipado con una hormigonera cuya finalidad a más de transportar hormigón premezclado es proveer un amasado constante del mismo, este el método es más seguro y es el más empleado para transportar hormigón en trayectos largos.

El mixer posee una capacidad que oscila normalmente entre 6 y 8 m<sup>3</sup>, siendo más frecuentes en la actualidad este último.

### ***1.9.2 Partes del camión mixer***

*Conjunto de carga y descarga:* Construido en chapas de acero de alta resistencia de la misma calidad y espesor del tambor, dimensionado para una rápida carga y descarga, posee un sistema de traba tipo “morsa” para posicionamiento en cualquier ángulo de giro de la canaleta de descarga.

*Tambor:* El tambor es uno de los componentes del camión de carga de hormigón en donde se encuentra almacenado el hormigón premezclado, este componente es el que más se encuentra expuesto a la acción de la abrasión y corrosión.

*Tanque de agua:* Es el componente en el cual se encuentra almacenada el agua, está presurizado por el propio sistema de aire del camión, protegido por dos válvulas de alivio reguladas a una presión menor que la válvula del camión, tienen generalmente una capacidad de 650 litros.

*Comando trasero:* El comando de la hormigonera puede ser mecánico o electrónico, este posee 3 palancas: una de traba, la segunda para el control de la rotación del motor diesel y la tercera para la bomba hidráulica.

## 1.10 Aguas residuales

Se define como la combinación de residuos líquidos o aguas que se caracterizan por llevar elementos extraños, ya sea por causas naturales o provocadas de forma directa o indirecta en respuesta a las actividades realizadas por el hombre.



**Figura 12-1. Aguas residuales**

Fuente: (*El riego de los suelos con aguas industriales*, 2013)

## 1.11 Tipos de aguas residuales

### 1.11.1 Aguas residuales urbanas

Son aquellas aguas residuales generadas en los núcleos de población urbana, muestran cierta homogeneidad en cuanto a composición y carga contaminante.

Los aportes que generan esta agua son:

*Aguas negras, fecales o aguas sanitarias*, son aquellas aguas que se encuentran contaminadas con exoneraciones corporales (materia fecal, orina) y que proceden de humanos y de animales, suelen ser ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales. Generalmente este tipo de agua procede de los retretes de los diferentes domicilios, de los centros comerciales, de establos y de otros lugares de servicio público.

*Aguas de lavado doméstico*, son las resultantes de las actividades domésticas de la vida cotidiana como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza, entre otras, estas aguas presentan una alta cantidad de materia orgánica, detergentes, grasas, materia en suspensión formadas por tierra, arena y diversas materias insolubles, este tipo de agua suele ser aportante de DBO, fósforo y coliformes fecales.



Además su composición varía según los hábitos de la población que los genera.

*Agua de lluvia y lixiviados*, es el agua que cae de las nubes en estado líquido o sólido, de ningún modo esta agua es pura puesto que contiene diferentes gases disueltos y algunos iones que se hallan en la atmósfera como polvo y que son consecuencia de numerosos fenómenos que en ella se originan.

Esto es generalmente notable en las zonas industriales y en las ciudades más pobladas en donde la atmósfera que rodea estos lugares se encuentra completamente polucionada, además estas aguas transportan diferentes contaminantes que se encuentran en los techos, calles y demás superficies por donde circula.

Tanto la composición como la carga contaminante de las aguas residuales urbanas presentan cierta homogeneidad debido a que sus aportes suelen ser siempre los mismos o al menos aproximados tanto cuantitativa y cualitativamente.

Cabe señalar que la homogeneidad antes mencionada depende de diferentes aspectos como es el núcleo de la población en la que se genere dependiendo del número de habitantes, la presencia de industrias dentro del sector, el tipo de industria, entre otros.

### ***1.11.2 Aguas residuales industriales***

Son aquellas aguas vertidas desde locales en donde se realizan actividades de tipo industrial, es decir que el agua se utiliza para llevar a cabo las actividades propias de la industria ya sea producción, transformación o manipulación, además estas aguas no son domésticas ni de escorrentía pluvial.

El agua se contamina como respuesta al contacto que tiene con las diferentes materias primas, con los productos fabricados o con los líquidos residuales al final del proceso, su composición suele variar de acuerdo al tipo de proceso industrial que se realiza, obteniéndose de esta manera aguas alcalinas o ácidas, tóxicas, coloreadas, además su composición permiten conocer las materias primas empleadas en el proceso industrial.

El tratamiento para las aguas residuales industriales suele ser más complicado que el tratamiento de las aguas residuales urbanas debido a la alta carga contaminante y gran variabilidad, además es importante señalar que no existe un procedimiento universal de depuración.

## 1.12 Clasificación de las aguas industriales

Las aguas residuales industriales se clasifican en cinco grupos según sus vertidos:

**Tabla 7-1:** Industrias según su vertido

TIPO DE EFLUENTE	INDUSTRIAS
Industrias con efluentes principalmente orgánicos:	Papeleras, azucareras, mataderos, curtidos, conserveras, lecherías y subproductos, fermentaciones, preparación de productos alimenticios, bebidas y lavanderías.
Industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos:	Refinerías y Petroquímicas, coquerías, cementeras, industrias químicas y textiles.
Industrias con efluentes principalmente inorgánicos:	Químicas, limpieza y recubrimiento de metales, explotaciones mineras y salinas.
Industrias con efluentes con materias en suspensión:	Lavaderos de mineral y carbón, corte y pulido de mármol y otros minerales, laminación en caliente y colada continua.
Industrias con efluentes de refrigeración:	Centrales térmicas y centrales nucleares.

**Realizado por:** Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

En la Tabla 8-1 se resumen los contaminantes básicos, según el tipo de industria:

**Tabla 8-1:** Clasificación de los contaminantes según el tipo de industria

INDUSTRIA	TIPO DE CONTAMINANTE
Industria lechera	Concentración de materia orgánica.
Industria petroquímica:	Concentración de materia orgánica, aceites, fenoles, amoníaco y sulfuros.
Industria del curtido:	Alcalinidad, concentración de materia orgánica, materia en suspensión, materia decantable, sulfuros y cromo.
Industria papelera:	Color, concentración de materia orgánica, materia en suspensión y materia decantable, pH y AOX-EOX
Industrias de lavado de mineral:	Concentración de productos tóxicos empleados, sólidos en suspensión y sedimentables.
Industria de acabado de metales:	pH, concentración de cianuros y metales pesados.
Industria siderúrgica:	Concentración de materia orgánica, fenoles, alquitranes, cianuros libres y complejos, sulfuros, materias en suspensión, hierro, aceites, grasas y pH.
Industria de laminación en caliente:	Concentración de aceites, grasas y sólidos en suspensión.
Plantas de ácido sulfúrico:	Concentración de ácidos, sólidos sedimentables, arsénico, selenio y mercurio.

**Realizado por:** Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

A continuación se resume cierta información referente a las aguas residuales en la industria cementera debido a que sus características son similares a las aguas residuales generadas en una hormigonera.

### ***1.12.1 Aguas procedentes de la industria cementera***

La industria cementera genera principalmente residuos en forma de polvo que con la adición de agua son modelables y tras un tiempo de reacción endurecen o fraguan, por otro lado, en esta industria también se generan aguas residuales las cuales son resultado de las siguientes actividades:

*Enfriamiento:* En la industria de cemento se necesitan unos 0,6 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de cemento para la refrigeración de las máquinas, en esta operación se da lugar a la contaminación térmica.

*Limpieza y preparación de materias primas:* una considerable cantidad de agua es empleada para la limpieza de la maquinaria en la industria cementera y en la preparación de las materias primas, en esta operación se provoca un elevado pH y alcalinidad del agua, sólidos totales y sólidos disueltos.

*Agua del proceso de la pasta:* sólo es un problema en el caso de derrames, al igual que el agua procedente de la limpieza y preparación de materias primas contiene sólidos totales, sólidos disueltos, pH y alcalinidad elevados.

*Control del polvo:* se emplean barredores húmedos para recoger el polvo del horno en los gases de salida. También se utiliza la pulverización de las carreteras para prevenir el polvo causado por el tráfico de camiones.

*Lechada de polvo:* en la lechada el polvo seco se mezcla con la pasta, se deja en un decantador, recogiendo el residuo inferior que es devuelto al horno. El sobrenadante, que contienen un elevado pH, alcalinidad, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, potasio y sulfato, se vierte. Esto constituye el problema más grave de contaminación en esta industria.

*Disposición del polvo:* el polvo recogido se mezcla en la pasta y se lleva a una laguna de sedimentación de los sólidos. Los sólidos sedimentados no son recuperados y el sobrenadante (lechada) se vierte.

Como se ha indicado anteriormente, muy pocas operaciones en la fabricación del cemento añaden contaminantes al agua empleada, en la mayoría de los casos la contaminación es resultado de las prácticas que permiten el contacto de los materiales con el agua.

### ***1.12.2 Contaminantes de las aguas residuales en la industria cementera***

La EPA (Agencia de Protección Ambiental/ Estados Unidos) ha dividido la industria cementera en tres categorías: plantas sin lechadas, plantas con lechada y escorrentía de las zonas de almacenamiento. Los contaminantes asociados a la industria del cemento y sus cargas actuales para las subcategorías de planta con o sin lechada se indican a continuación.

**Tabla 9-1:** Contaminantes asociados a la industria del cemento

Contaminante	Unidades Carga/ producción	Con lechada		Sin lechada	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
pH	-	2,72	5,44	2,72	5,57
Sólidos disueltos totales	Kg/ton	0,005	11,84	0	7,13
Sólidos suspendidos	Kg/ton	0	4,07	0	6,65
totales	Kg/ton	0	3,63	0	3,50
Alcalinidad	Kg/ton	0,16	10,24	0	1,09
Potasio	Kg/ton	0,55	14,22	0	1,47
Sulfatos	°C	-17,7	-6,7	0	-0,77
Aumento de temperatura					

Fuente: (Nemerrow N., 1988)

Por otro lado, la contaminación de los cursos de agua por la escorrentía de las pilas de almacenamiento y la contaminación del polvo pueden reducirse colocando las pilas de almacenamiento en un lugar en el que las aguas de escorrentía puedan retenerse, pavimentando las superficies de acceso y frecuentemente construyendo zanjas alrededor de la planta que drenen a un sumidero de retención.

### ***1.12.3 Tratamiento para las aguas residuales en la industria cementera***

Para las plantas en la categoría de lechada el principal mecanismo de control y tratamiento consiste en la segregación de las corrientes que han tenido contacto con el polvo y su neutralización con los gases del horno seguido de sedimentación con reciclado de agua o reutilización.

Los elementos empleados incluyen:

*Torres de enfriamiento:* Son estructuras para refrigerar agua y otros medios a temperaturas muy altas, de esta manera el uso principal de las torres de refrigeración industrial es el de rebajar la temperatura del agua de refrigeración o enfriamiento del proceso.

*Lagunas de sedimentación:* son estanques conformados perimetralmente por diques de tierra con profundidades menores a cinco metros, el objetivo de las lagunas de sedimentación es reducir la concentración de sólidos.

*Decantadores:* son instalaciones cuyo objetivo es separar los sólidos suspendidos en el agua, suelen ser de gran tamaño y en la industria cementera se emplean específicamente para separar los sólidos que se encuentran en la lechada.

Como se puede observar, el tratamiento que se provee a este tipo de aguas es simplemente un tratamiento físico con la finalidad de eliminar o reducir la cantidad de sólidos presentes, de esta manera, los niveles de contaminación pueden reducirse significativamente o incluso eliminarse mediante un tratamiento físico o mediante la reutilización del agua reciclada.

### **1.13 Características del agua residual generada en la industria hormigonera**

La mayor cantidad de aguas residuales se generan en la limpieza de los camiones de hormigón, estas llevan consigo residuos del producto y se caracterizan por los siguientes aspectos:

#### ***1.13.1 Características físicas***

##### *Sólidos*

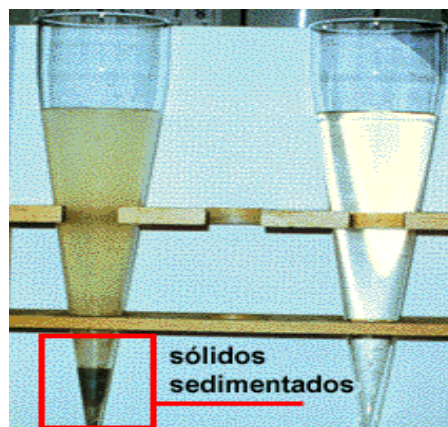
Es el contenido de materia sólida que se encuentra en el agua residual industrial, está formado por sólidos en suspensión (pueden ser sedimentables) y sólidos disueltos (que se hallan en estado iónico o molecular es decir no sedimentan). El contenido de sólidos afecta directamente la cantidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento o disposición.

*Total de sólidos en suspensión (TSS).* Indica la cantidad de partículas (tamaño variable) que permanecen retenidas en el agua residual como respuesta al movimiento del líquido o a la densidad de las mismas, puesto que a veces la densidad de las partículas suele ser igual o menor a la densidad del agua y pueden ser separados por medios mecánicos. Este parámetro es expresado en miligramos por litro - mg/L.

*Sólidos sedimentables.* Se define como la cantidad de material que se encuentra en el agua residual y que precipita en un período de tiempo en condiciones estáticas por acción de la gravedad, esta medida permite conocer aproximadamente la cantidad de sólidos que pueden ser eliminados en el tratamiento primario.

Analíticamente, se definen a los sólidos sedimentables como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica conocido como cono de Imhoff, en un periodo de tiempo de 60 minutos.

Estos pueden ser determinados y expresados en función de un volumen (mL/L) o de una masa (mg/L).



**Figura 13-1. Sólidos sedimentables**

Fuente: (*Características del agua residual, 2014*)

*Total de sólidos disueltos (TDS).* Es una medida de la cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran presentes en el agua residual industrial ya sea en forma molecular, ionizada o micro-granular.

La medida TDS (total de sólidos disueltos) proporciona información acerca de la calidad del agua que va a ser tratada, cabe señalar que la medición de este parámetro no manifiesta una contaminación grave, pero es un indicador de la composición química y de concentración de sales del contiene el agua. Este parámetro suele estar expresado en mg/L.

Puesto que esta agua procede de la limpieza de las hormigoneras arrastrarán principalmente sólidos procedentes de los distintos componentes del hormigón como son los áridos y el cemento, lo que supondrá una elevada cantidad de sólidos totales.

## *Olores*

Un olor se define como la sensación resultante de la recepción de un estímulo por el sistema sensorial olfativo.

Las aguas residuales industriales generalmente presentan olores característicos del proceso industrial del que proceden, estos pueden variar desde no perceptibles hasta extremadamente fuertes, afectando este último principalmente a los empleados, vecinos y negocios ubicados cerca de la planta.

En la siguiente tabla se muestran los distintos niveles de intensidad de olor para inspecciones de campo.

**Tabla 10-1:** Niveles de intensidad de olor

<b>Olor</b>	<b>Nivel de Intensidad</b>
No perceptible	0
Muy débilmente perceptible	1
Débilmente perceptible	2
Distinguible	3
Fuerte	4
Muy fuerte	5
Extremadamente fuerte	6

**Fuente:** ( *Olores*, 2008)

El agua generada en la limpieza de los camiones de carga de hormigón presenta un olor distinguible, característico de los materiales empleados para la elaboración del producto entre los cuales se destaca el cemento.

## *Color*

Es una característica física que presenta el agua residual y es percibido por el sentido de la vista. El color en aguas residuales industriales puede manifestar el origen de la contaminación, así como también puede ser un indicador del buen estado o deterioro de los procesos de tratamiento.

En el agua se pueden establecer dos tipos de colores: el color verdadero, que corresponde al color del agua una vez que se ha removido la turbidez y el color aparente, que manifiesta el

color de las sustancias en solución, de las sustancias coloidales y también debido al material suspendido.

Para determinar el color aparente el análisis se lo realiza sobre la muestra original sin filtración y centrifugación previa.

Es importante determinar el color de la muestra ya que este aspecto permite evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso empleado para su remoción, cualquier grado de color es objetable por parte del consumidor y su remoción es una función del tratamiento del agua.

El agua residual generada en la industria hormigonera presenta un color oscuro, el mismo que está fuertemente relacionado con el material de origen.

### *Turbiedad*

Es la ausencia de transparencia por la presencia de una variedad de sólidos en suspensión y materia coloidal presente en el agua residual industrial, en otras palabras se puede decir que la turbiedad es la propiedad óptica de una suspensión que provoca que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión.

Los valores de turbidez determina el grado de tratamiento que requiere el agua residual industrial, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración. La turbiedad del agua se expresa en NTU (unidad nefelométrica de turbidez).

El agua residual generada en la limpieza de los camiones mixer presenta un alto grado de turbiedad como respuesta a los materiales empleados.

### *Temperatura*

Se define como el grado o nivel térmico que presenta el agua residual, es un parámetro importante ya que influye en las características del agua, en las operaciones y en los procesos de tratamiento, así como también en el método de disposición final. La temperatura se suele expresar en grados centígrados (°C) y la temperatura del agua residual generada es más elevada que la del agua de suministro.



## Densidad

Se define la densidad del agua residual como su masa por unidad de volumen, de esta característica depende la formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento. La densidad viene expresada en  $\text{Kg/m}^3$ .

### 1.13.2 Características químicas

#### pH

Es el coeficiente que indica el grado de acidez o alcalinidad que presenta el agua residual, mediante este parámetro se visualiza la aptitud del agua.

**Tabla 11-1:** Rangos de pH

Rango	pH
Muy ácida	$\leq 4$
Moderadamente ácida	5
Ligeramente ácida	6
Neutra	7
Ligeramente alcalina	8
Moderadamente alcalina	9
Muy alcalina	$\geq 10$

Fuente: (La escala de pH y fuerza de ácidos y bases, 2011)

Las aguas generadas en la limpieza de los camiones de hormigón presentan un pH muy elevado, generalmente entre 10 y 12, esto se debe a que se emplean minerales calcáreos generándose así aguas muy alcalinas.

El pH es un parámetro que se debe tener muy en cuenta puesto que si las aguas cáusticas son descargadas en una corriente natural, el pH normal de la fuente se vería afectado y toda forma de vida acuática se destruiría a causa de este factor.

El suelo es otro recurso que se vería afectado junto con su vegetación en caso de que se efectuara una descarga directa ya que los suelos presentan un pH entre 4 y 8 y como antes se mencionó el agua generada en la producción de hormigón tiene un pH muy elevado, de esta

manera el pH normal del suelo se alteraría destruyéndose toda probabilidad de la vida vegetal y microfauna.

Es necesario mencionar que el pH también afecta a la disponibilidad de nutrientes principales para el desarrollo de la vegetación, como son el nitrógeno y el fósforo.

### *Materia inorgánica*

Es aquella que no está compuesta por carbono y que no es fabricada por los seres vivos sino por la naturaleza, son moléculas pequeñas y simples como las sales, minerales, cloruros, y otros. Vienen expresados en mg/L.

Existe un sinnúmero de componentes inorgánicos de las aguas residuales que influyen en la determinación y control de la calidad del agua, las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas y por el contacto con las aguas residuales.

Las aguas minerales disuelven parte de las rocas y minerales con los que entran en contacto, la concentración de la materia inorgánica incrementa también por evaporación ya que se elimina gran parte del agua y permanecen las sustancias inorgánicas en el agua.

Las aguas generadas en la limpieza de los camiones de hormigón suelen estar cargadas de materia inorgánica la cual proviene de los componentes del hormigón específicamente de grava, arena y cemento.

### *Cloruros*

El ión cloruro es una de las especies de cloro más importantes a determinar en las aguas residuales.

Los cloruros se encuentran presentes en todas las aguas naturales en concentraciones no determinadas ya que proceden de la disolución de suelos y rocas que los sostengan y que están en contacto con el agua, se expresan en mg/L.

En el caso de las aguas procedentes de la industria hormigonera estas presentan un alto contenido de cloruros debido a sus componentes como son el cemento, los áridos (fino, grueso) y los aditivos.

### *Sulfatos*

El ion sulfato es uno de los aniones más comunes en las aguas naturales, su concentración suele ser variable y se expresa en mg/L. Los sulfatos están presentes en muchos compuestos inorgánicos y son el resultado de procesos naturales o de la actividad humana siendo sus fuentes principales las rocas y los suelos sedimentarios.

Al igual que los cloruros, los sulfatos están presentes en las aguas generadas en la limpieza de los camiones de hormigón como respuesta al material empleado para la fabricación de hormigón.

### *Alcalinidad*

Es la capacidad que tiene el agua para neutralizar ácidos, la importancia radica en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación tampón del agua, está asociada con altos valores de pH, dureza y sólidos disueltos.

Generalmente, la alcalinidad en aguas residuales está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco. De entre todos ellos, los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio.

La alcalinidad ayuda a regular los cambios del pH producido por la adición de ácidos, se expresa en mg/L.

**Tabla 12-1:** Rangos de Alcalinidad

<b>Rango</b>	<b>Alcalinidad (CaCO<sub>3</sub> mg/L)</b>
Baja	< 75
Media	75-150
Alta	> 150

**Fuente:** (Parámetros físico químicos- Alcalinidad, 2011)

El agua que procede de la limpieza de los camiones hormigonera suele ser altamente alcalina en respuesta a los materiales empleados en la fabricación del hormigón.

## *Dureza*

Se define como la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes en el agua residual como iones de calcio, estroncio, bario y magnesio, en forma de carbonatos y bicarbonatos, expresados como carbonato de calcio.

A nivel industrial, esta cantidad de sales suele ser un problema ya que puede ser la causa de incrustaciones en las tuberías de agua caliente, calentadores, calderas y otras unidades en las cuales se incrementa la temperatura del agua, el valor de la dureza determina la conveniencia para el uso industrial y la necesidad de un proceso de ablandamiento, se expresa en mg/L.

A continuación en la tabla 13-1 se establecen los diferentes rangos de dureza.

**Tabla 13-1:** Rangos de dureza

<b>Rango</b>	<b>Dureza (mg/L)</b>
Blanda	0-75
Moderadamente dura	75-150
Dura	150-300
Muy dura	> 300

Fuente: (Romero, 2002)

## *Álcalis*

Son sustancias cáusticas que se disuelven en agua formando soluciones con un pH bastante superior a 7, entre los cuales tenemos amoníaco, hidróxido amónico, hidróxido y óxidos cálcicos, hidróxido de potasio, hidróxido y carbonato potásico, hidróxido de sodio, carbonato, hidróxido, peróxido y silicatos sódicos y fosfato trisódico.

Los iones directamente relacionados con los álcalis son el sodio (Na) y el potasio (K).

En el hormigón los álcalis pueden formarse por la reacción producida por el hidróxido de calcio al momento de la hidratación del cemento, de igual manera puede originarse de los minerales insolubles del agregado, es decir que provienen de fuentes externas, como por ejemplo del agua empleada para la preparación de hormigón, aditivos, aguas subterráneas o sales alcalinas solubles en los agregados.

De esta manera se entiende que los álcalis están presentes en el agua residual procedente del lavado de los camiones de carga del hormigón por la reacción producida por el hidróxido de calcio al entrar en contacto el agua con el cemento.

Este parámetro se expresa en mg/L o ppm.

### **1.13.3 Características biológicas**

Las aguas residuales procedentes del lavado de camiones de hormigón pueden presentar ciertos microorganismos como:

#### *Bacterias*

Son microorganismos unicelulares procariontes capaces de provocar enfermedades en el ser humano, fermentaciones y pudrimientos en la materia orgánica. El papel que desempeñan en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica es amplio y de gran importancia.

Las bacterias que se encuentran en el agua residual generalmente son de origen fecal y pueden desempeñar un papel importante en el proceso de biodegradación.

En el agua residual procedente del lavado de los camiones de hormigón no presentan este tipo de microorganismos puesto que en su totalidad su composición es materia inorgánica y además presenta un pH muy elevado lo que dificulta el desarrollo de estos microorganismos.

#### *Coliformes*

El grupo coliforme, incluye las bacterias de forma bacilar, aeróbicas y facultativas anaeróbicas, Gram negativas, no formadoras de esporas. En excrementos humanos el grupo coliforme es muy grande, la presencia de estos en las aguas manifiestan una ocurrencia de polución fecal y por ende la contaminación con microorganismos patógenos.

En el agua generada en la operación del lavado de los camiones de hormigón, difícilmente pueden estar presentes estos microorganismos por las características que presentan, específicamente el pH elevado.

### *Virus*

Son microorganismos que constituyen uno de los riesgos más importantes para la salud, se considera que para exterminarlos con cloro se requieren de dosis superiores a la del punto de quiebre, lo cual hace necesario de clorar las aguas residuales desinfectadas.

### *Protozoos*

Los protozoos que se encuentran más frecuentemente en las aguas residuales son: amebas, flagelados, y ciliados libres, fijos y reptantes, juegan un papel muy importante en los procesos de tratamiento biológico, especialmente en los filtros percoladores y fangos activados.

Algunos protozoos pueden ser patógenos, además estos son muy importantes en el funcionamiento de los tratamientos biológicos como en la purificación de agua, puesto que estos mantienen el equilibrio natural.

Al igual que los microorganismos antes mencionados como bacterias, virus y coliformes los protozoos difícilmente podrían sobrevivir en las aguas generadas en la operación de lavado de los camiones de carga de hormigón.

### *Hongos*

Son microorganismos eucariotas, multicelulares, aerobios y no fotosintéticos, desempeñan un papel importante en la degradación de la materia orgánica, sin la presencia de estos organismos, el ciclo de carbono se interrumpiría en poco tiempo, y la materia orgánica empezaría a acumularse.

Las aguas residuales industriales (específicamente orgánicas) son ricas en hongos, especialmente estas aguas contienen levaduras y hongos levaduriformes, los hongos pueden desarrollarse en condiciones ambientales más extremas que las bacterias.

### *Algas*

Se las conoce también con el nombre de plantas inferiores, son eucariotas, son organismos acuáticos que viven en agua dulce o marina, tienen la capacidad de realizar la fotosíntesis y obtener carbono orgánico con la energía de la luz del sol.

La presencia de algas en aguas residuales tiene gran importancia, puesto que junto con las bacterias favorecen a la estabilización de la materia orgánica que se encuentra en las aguas residuales, además el crecimiento de las algas es mucho mayor cuando existe materia que contenga nutrientes como el nitrógeno y el fósforo.

Difícilmente las algas podrían formarse en las aguas residuales procedentes del lavado de los camiones de hormigón pero en caso de que el agua permaneciera estancada por mucho tiempo posiblemente este tipo de microorganismos podría desarrollarse.

#### **1.14 Etapas del tratamiento de aguas residuales para la industria hormigonera**

Para el tratamiento de aguas residuales en la industria hormigonera se puede aplicar ciertos tipos de tratamiento según el caso, a continuación se detallarán los principales: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

##### ***1.14.1 Pretratamiento***

A esta etapa corresponden todos los procesos que se ubican a la entrada de la planta, su finalidad es eliminar todo tipo de materiales sólidos, evitando obstrucciones en los equipos y un desgaste de los mismos. Los equipos empleados suelen ser rejillas o cribas, tamices, desarenadores, entre otros.

##### ***Desbaste***

El objetivo de esta operación es eliminar la mayor parte de sólidos que se encuentran en el agua, específicamente aquellos que poseen un gran tamaño, entre estos se encuentran trapos, palos, piedras, plásticos, entre otros materiales que pueden resultar perjudiciales si no son eliminados antes de completar las siguientes fases del tratamiento.

##### ***Neutralización***

La neutralización es una operación que consiste en obtener aguas residuales con un pH de 7 antes de su descarga con la finalidad de evitar problemas posteriores en el punto de descarga y en su entorno, generalmente las aguas residuales suelen ser ácidas o básicas.

Cuando las aguas residuales presentan un pH bajo se emplea comúnmente el hidróxido de sodio, puesto que es fácil de manipular y se lo puede emplear en diferentes concentraciones, sin embargo se debe señalar que la cal sigue siendo el material más frecuente empleado para neutralizar aguas ácidas.

Por otro lado, cuando las aguas residuales presentan un pH muy elevado se emplea generalmente el ácido sulfúrico, siempre y cuando no exista la probabilidad de que se forme sulfato de calcio, en este caso es mejor emplear ácido clorhídrico conocido como ácido muriático para dicha neutralización. Otro método empleado para neutralizar aguas básicas es mediante CO<sub>2</sub> siempre y cuando las aguas sean ligeramente básicas.

En la fabricación de hormigón se emplean minerales calcáreos, razón por la que las aguas generadas son caústicas, presentando un pH muy elevado generalmente entre 10 y 12.

#### *Desarenado*

El proceso de desarenado se emplea para separar la arena y grava que se encuentra en el agua. Los efectos negativos que provoca este material es que origina depósitos en canales y tuberías, fricción y deterioro sobre los equipos mecánicos empleados y dificulta la eliminación y digestión de los lodos separados en los tanques de sedimentación.

#### ***1.14.2 Tratamiento primario físico-químico***

En esta etapa del tratamiento, el objetivo principal es la eliminación de sólidos en suspensión y materiales flotantes, entre las principales operaciones empleadas tenemos las siguientes:

#### *Homogeneización*

La homogeneización es una operación empleada en el tratamiento del agua residual cuyo objetivo es conseguir una igualdad de caudales y cargas contaminantes especialmente donde se experimentan grandes variaciones entre caudales mínimos y máximos, de igual manera con respecto a las cargas contaminantes del líquido a tratar.

Sin embargo en el tratamiento de aguas residuales generadas en el lavado de camiones de carga de hormigón esta operación es opcional.



### *Sedimentación primaria*

Esta operación tiene como finalidad separar los sólidos de mayor densidad que se encuentren en un fluido por acción de la gravedad, se puede efectuar dicha sedimentación en tanques rectangulares o cilíndricos en donde se remueve del 60 al 65% de sólidos presentes en el líquido.

Las aguas generadas en la limpieza de los camiones de carga de hormigón, arrastrarán principalmente sólidos procedentes de los distintos componentes del hormigón como son los áridos y el cemento lo que supondrá un elevado nivel de sólidos totales, razón por la cual es necesaria esta operación dentro del tratamiento.

### *Flotación*

El objetivo de esta operación es separar la materia sólida o líquida de menor densidad del fluido, es decir que esta operación se basa en la diferencia de densidades.

### *Filtración Primaria*

La filtración es una operación unitaria empleada para remover partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua residual la cual se escurre en un medio poroso o filtrante, es decir que en esta operación se separan los sólidos existentes en un líquido a través de un medio filtrante reteniendo de esta manera gran parte de sólidos suspendidos en la fase acuosa.

### ***1.14.3 Tratamiento secundario o tratamiento biológico***

Estos procesos son empleados para transformar la materia orgánica fina coloidal y disuelta en un floc biológico sedimentable o para retener las partículas que no han sido removidas en el tratamiento primario. En este tipo de aguas residuales no existe materia orgánica por lo cual se detallarán las operaciones enfocadas a la remoción de sólidos.

### *Sedimentación Secundaria*

La sedimentación secundaria tiene como objetivo retirar los flóculos biológicos detenidos en los filtros por acción de la gravedad. Esta es una de las operaciones que permite obtener agua clarificada con una cantidad insignificante de materia orgánica soluble y coloidal.

### *Filtración Secundaria*

El objetivo de la filtración secundaria es eliminar al máximo aquellos sólidos finos que se encuentran en suspensión y que han quedado después de haberse dado el tratamiento biológico.

#### ***1.14.4 Tratamiento terciario de carácter físico-químico o biológico***

El objetivo de esta etapa del tratamiento es remover contaminantes específicos, comúnmente tóxicos o compuestos no biodegradables o contaminantes no suficientemente removidos en el tratamiento secundario.

### *Intercambio Iónico*

Esta operación tiene como finalidad retener selectivamente ciertos iones disueltos en el agua, mediante el empleo de un material conocido como resinas de intercambio iónico.

### *Adsorción*

La operación de adsorción se fundamenta en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido, se emplea generalmente para eliminar fenoles, hidrocarburos aromáticos nitrados, derivados clorados, entre otros, con el fin de eliminar el olor, color y sabor.

### *Microfiltración*

La microfiltración se emplea cuando se requiere eliminar del agua partículas de un diámetro superior a 0.1 mm, mediante el uso de membranas que tienen un poro de 0.1 y 10  $\mu\text{m}$ .

### *Ultrafiltración*

Al igual que la microfiltración, la ultrafiltración es utilizada para eliminar sólidos del agua, con la diferencia que permite retener moléculas cuyo tamaño oscila entre 0.001 y 0.1  $\mu\text{m}$ .

### *Membranas Cerámicas*

La gran estabilidad mecánica y química de estas membranas hacen posible su utilización tanto para efluentes de alta carga contaminante, como para reutilización de aguas de cualquier

proceso industrial, estas membranas son resistentes a los disolventes, oxidantes y otros productos químicos, además soportan todo rango de pH y temperaturas de hasta 100°C.

### **1.15 Tratamiento de las aguas residuales en la Hormigonera de los Andes**

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos que tienen como finalidad eliminar los contaminantes que se encuentran presentes en el efluente.

En el caso de la industria hormigonera el tratamiento de las aguas residuales tiene un objetivo adicional y es el de conseguir una recuperación máxima del agua empleada en la fabricación del hormigón y de los elementos de la mezcla.

Las etapas necesarias para tratar las aguas residuales de este rubro suelen ser:

- Homogeneización de efluentes (opcional)
- Neutralización (en caso de descargar el agua)
- Eliminación de sólidos en suspensión

De esta manera el tratamiento que se provee a las aguas residuales generadas en la industria hormigonera es un tratamiento físico.

#### ***1.15.1 Sedimentación primaria***

La sedimentación es una operación unitaria que consiste en la separación de las partículas que se encuentran suspendidas en el agua residual por acción de la gravedad cuyo peso específico es mayor que el del agua.

Cuando el agua residual posee una alta cantidad de sólidos suspendidos y se la deja reposar, por acción de la gravedad estos sólidos precipitarán al fondo del recipiente formándose un manto de lodos, mientras que en la parte superior del recipiente el líquido permanecerá clarificado, es por ello que mientras mayor sea la densidad y el tamaño de las partículas mayor será la velocidad de sedimentación.

Dentro de los parámetros más importantes involucrados en el diseño de los sedimentadores primarios están los sólidos suspendidos totales y el DBO, en este caso por tratarse de material de construcción nos enfocaremos en el primer parámetro.

### 1.15.1.1 Tanques de sedimentación

Los tanques de sedimentación son depósitos de gran tamaño cuyo objetivo es separar los sólidos en suspensión que se encuentran en el agua residual por efecto de la gravedad, estos suelen ser de gran tamaño de forma que el tiempo en el que los sólidos permanecen en la instalación debe ser superior al tiempo en el que las partículas descienden.

#### a) Tanques circulares

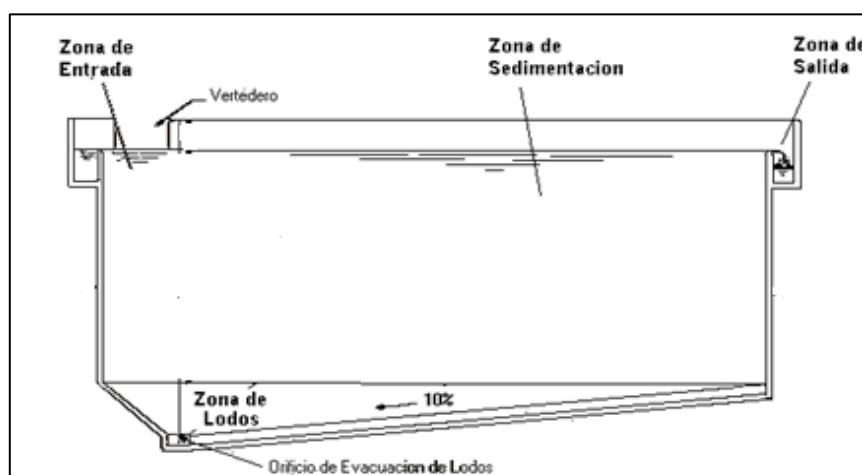
La entrada del agua es por el centro del decantador la cual es acumulada en la periferia del mismo, el agua clarificada sale a través de un vertedero triangular mientras que la evacuación del fango se da por la parte inferior del tanque.

#### b) Tanques rectangulares

En los tanques de sedimentación rectangular generalmente la alimentación se da por uno de los lados más angostos y la salida del agua es por medio de un vertedero rectangular localizado al lado opuesto.

### 1.15.1.2 Dimensionamiento de un sedimentador rectangular

Para el dimensionamiento de un sedimentador rectangular se debe conocer los principales componentes.



**Figura 14-1. Zonas del sedimentador rectangular**

Fuente: (Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores, 2005)

Este sedimentador se puede dividir en cuatro zonas:

**Zona de entrada:** La zona de entrada es una estructura hidráulica que tiene como función suministrar una transición suave entre el flujo de entrada y el flujo uniforme permanente deseado en la zona de sedimentación, es decir en otras palabras permite una mejor distribución del flujo dentro del sedimentador.

**Zona de sedimentación:** Está formada por un canal rectangular con volumen, longitud y otras condiciones de flujo apropiados para facilitar la sedimentación de las partículas, el flujo va en dirección horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos de la zona.

La velocidad crítica de sedimentación es la velocidad mínima a la cual las partículas del flujo empiezan a sedimentarse, el cálculo de la velocidad de sedimentación se determina considerando los diámetros que presentan las partículas que se encuentran en el agua residual y está en función del número de Reynolds.

A continuación se presenta la Tabla 14-1 con cargas superficiales y velocidades de asentamiento para algunas partículas.

**Tabla 14-1:** Cargas superficiales para algunas partículas

Diámetro de partícula, mm	Clasificación	$C_s$ $m^3/d.m^2$	V mm/s
10,0	Grava	86400	1000
1		8640	100
0,6		5443	63
0,4	Arena gruesa	3629	42
0,2		1814	21
0,1		691	8
0,06		328	3,8
0,04	Arena Fina	181	2,1
0,02		54	0,62
0,01		13	0,154
0,004	Limo	2	0,0247

Fuente: (Romero, 2000)

- **Área del sedimentador**

Es la superficie del sedimentador en donde por acción de la gravedad los sólidos que se encuentran en el agua residual precipitan hacia el fondo del mismo permaneciendo ahí hasta su posterior disposición. El área del sedimentador se expresa en m<sup>2</sup>.

Para calcular el área del sedimentador se emplea la carga superficial, que no es sino la velocidad crítica mínima de sedimentación Q/A y para determinar el área del sedimentador se emplea la siguiente expresión:

$$A_s = \frac{Q}{C_s}$$

**Ecuación 1-1**

Dónde:

$A_s$  = área superficial de la zona de sedimentación (m<sup>2</sup>)

$Q$  = caudal de diseño (m<sup>3</sup>/día)

$C_s$  = carga superficial (m/día)

- **Longitud del sedimentador**

Es la dimensión del sedimentador considerando su extensión en línea recta, para determinar la longitud de la zona de sedimentación se recomienda mantener la relación entre largo, ancho y profundidad de la zona.

La longitud de la zona de sedimentación se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$L_s = \frac{A_s}{B_s}$$

**Ecuación 2-1**

Dónde:

$L_s$  = longitud del sedimentador (m)

$A_s$  = área del sedimentador (m<sup>2</sup>)

$B_s$  = ancho del sedimentador (m)

- ***Volumen del sedimentador***

El volumen del sedimentador se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V_S = L_S \times A_S$$

**Ecuación 3-1**

Dónde:

$V_S$ = volumen del sedimentador (m<sup>3</sup>)

$L_S$ = longitud del sedimentador (m)

$A_S$ = área del sedimentador (m<sup>2</sup>)

- ***Velocidad horizontal***

Es la relación que se establece entre la distancia horizontal que recorren los sólidos que se encuentran en el agua residual y el tiempo que se emplea en dicho recorrido. La velocidad horizontal viene expresada en m/s.

Para determinar la velocidad horizontal se emplea la siguiente ecuación:

$$v_H = \frac{Q}{B_S * H_S}$$

**Ecuación 4-1**

Dónde:

$v_H$  = velocidad horizontal (m/s)

$Q$  = caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

$B_S$  = ancho (m)

$H_S$  = altura (m)

- ***Tiempo de retención***

Es el periodo máximo que la partícula con la mínima velocidad de sedimentación tarda en llegar hasta el fondo, por tanto es directamente dependiente de la profundidad del tanque, se expresa en horas.

Para la determinación del tiempo de retención se emplea la siguiente relación:

$$T_0 = \frac{A_s * H_s}{Q}$$

**Ecuación 5-1**

Dónde:

$T_0$  = tiempo de retención (h)

$A_s$  = área de sedimentación ( $m^2$ )

$H_s$  = altura o profundidad (m)

$Q$  = caudal de diseño ( $m^3/día$ )

- **Altura máxima**

Es la medida vertical máxima del sedimentador, calculada desde el nivel del borde inferior hasta el nivel superior de la última cubierta, para lo cual se considera la pendiente del fondo del sedimentador. Se expresa en metros (m).

$$H' = H_s + x H_s$$

**Ecuación 6-1**

Dónde:

$H'$  = altura máxima del sedimentador (m)

$H_s$  = altura del sedimentador (m)

$x$  = pendiente del fondo del sedimentador (%)

**Zona de lodos:** Los lodos formados en el sedimentador son recolectados en una tolva que tiene una tubería y una válvula para la evacuación periódica de los lodos. Todas las partículas que ingresan a la zona de lodos quedan atrapadas considerándolas como removidas y sin importar el tamaño se comportan como partículas discretas.

Las partículas que se encuentran en el agua residual sedimentan en el primer tercio de la longitud del sedimentador entre el 60 y 90%, con este dato la tolva de lodos debe dimensionarse considerando lo siguiente:

- En la zona de entrada del sedimentador la pendiente de la tolva debe estar entre el 5 y 10% y en la zona de salida del sedimentador la pendiente de la tolva debe estar entre el 2.5 y 5%.
- El drenaje de los lodos obtenidos en la tolva se efectuará por medio de una tubería de diámetro  $\geq 12$  pulgadas.



**Zona de salida:** Está formada por un vertedero o por tubos con perforaciones que tienen como propósito recoger el efluente sin alterar la sedimentación de las partículas ya depositadas, es decir que esta zona provee una transición suave entre la zona de asentamiento y el flujo efluente.

- **Altura del vertedero de salida**

$$H_2 = \left[ \frac{Q}{1,84 * B_s} \right]^{2/3}$$

**Ecuación 7-1**

Dónde:

$H_2$  = altura del vertedero de salida (m)

$Q$  = caudal de diseño (m<sup>3</sup>/h)

$B_s$  = ancho del sedimentador (m)

**Tabla 15- 1:** Criterios de diseño para un sedimentador rectangular

Parámetro	Valor	Unidad
Período de diseño	8-16 años	Años
Período de operación	24	horas por día
Tiempo de retención	2-6	horas
Carga superficial	2-10	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d.
Relación largo/ancho (L/B)	3/1	-
Relación largo/profundidad (L/H)	5/1	-
Coefficiente de la relación largo/ancho	3-6	-
Coefficiente de la relación largo/profundidad	5-20	-
Pendiente del fondo de la unidad	5-10	%

Fuente: (Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores, 2005)

- **Remoción de sólidos**

Es el porcentaje de sólidos totales suspendidos que han sido removidos del agua residual por medio de la sedimentación, se expresa en porcentaje (%) y se determina de la siguiente manera:

$$R_{ST} = \frac{T_{rh}}{a + bT_{rh}}$$

**Ecuación 8-1**

Dónde:

$R_{ST}$  = remoción de sólidos (%)

$T_{rh}$  = tiempo de retención hidráulica (h)

$a, b$  = constantes empíricas

**Tabla 16-1:** Valores de las constantes empíricas a y b

Variable	A	b
DBO	0.018	0.020
SST	0.0075	0.014

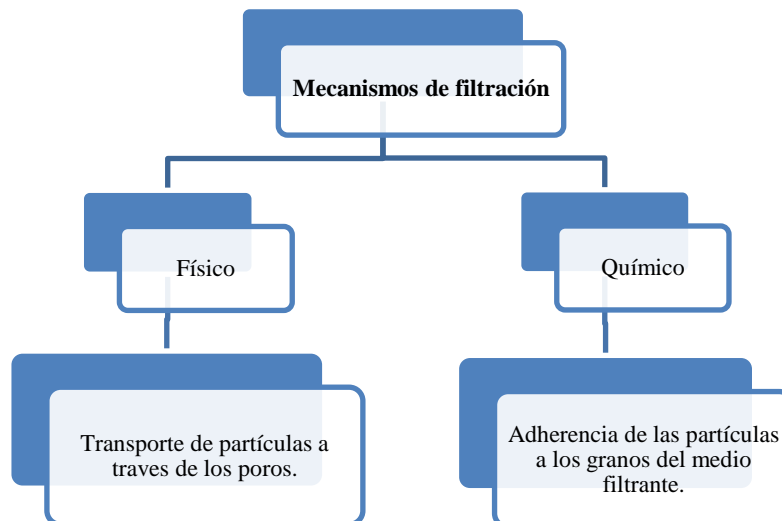
Fuente: (Crites y Tchobanoglous, 2000)

### 1.15.2 Filtración Primaria

La filtración es una operación física que emplea un medio poroso a través del cual se hace pasar el agua residual con el fin de reducir la mayor cantidad de sólidos en suspensión y retener ciertas sustancias que se encuentran en el agua y que no han sido retenidas en el proceso de sedimentación.

#### 1.15.2.1 Mecanismos de remoción de un filtro

Cuando el agua sale de un sedimentador, generalmente suele estar cargada de partículas suspendidas que van desde tamaños relativamente grandes (1 mm) hasta partículas de tamaño coloidal las cuales pueden ser removidas mediante filtración.



**Figura 15-1. Mecanismos de filtración**

Fuente: (Mecanismos de filtración, 2000)

#### a) *Mecanismo físico*

Entre los mecanismos físicos están los siguientes:

*Cernido:* es el mecanismo que actúa cuando las partículas suspendidas son de mayor tamaño que los poros del lecho filtrante, quedan atrapados en los intersticios.

*Intercepción:* este mecanismo ocurre cuando el floc se pega a la superficie de los granos del medio filtrante.

*Difusión:* debido al movimiento browniano existe una tendencia de las partículas pequeñas (floc o bacterias) a difundirse desde las zonas de alta concentración a las zonas de baja concentración. Hay que considerar que la mayoría de las partículas que llegan al filtro son menores de 10  $\mu$ .

*Impacto inercial:* cuando el agua pasa alrededor de los granos del medio filtrante, la inercia de las partículas que ella contiene hace que tiendan a seguir trayectorias rectilíneas, chocando con los granos y quedando adheridas a ellos.

*Sedimentación:* los granos del medio filtrante tienen un área relativamente grande donde los sólidos suspendidos quedan depositados por sedimentación.

#### b) *Mecanismo químico*

El material suspendido en el agua también puede quedar retenido en el medio filtrante por una serie de factores químicos y electroquímicos.

Los más importantes son los siguientes:

*Fuerzas de Van der Waals,* entre las partículas del medio filtrante y las partículas suspendidas se generan unas fuerzas siempre atractivas debido al movimiento de electrones en sus órbitas, que hacen que se unan entre sí.

*Fuerzas electrostáticas,* si los granos del medio filtrante tienen carga contraria a los sólidos suspendidos, se genera entre ellos una fuerza de atracción.

Si los granos del medio filtrante son negativos y los sólidos son neutros, en este caso la barrera de energía ha desaparecido y todo contacto puede producir retención.

*Puente químico:* las cadenas de los polímeros que se forman por la coagulación-floculación dejan libres sus segmentos extendidos, los cuales se adhieren a los granos.

### 1.15.2.2 Tipos de Filtración

La filtración puede efectuarse en muchas formas distintas: con baja carga superficial (filtros lentos) o alta carga superficial (filtros rápidos), en diferentes medios porosos (arena, antracita, zeolita, etc.), empleando solo un medio filtrante (lecho simple) o varios medios (lecho mixto), con flujo ascendente o descendente; por último el filtro puede trabajar a presión o por gravedad según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante.

**Tabla 17-1:** Tipos de filtro

Según la velocidad de filtración	Según el medio filtrante	Según el sentido del flujo	Según la carga sobre el lecho
Lentos 2-10 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	Arena	Ascendentes Descendentes	Por gravedad
Rápidos 120-360 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	Lecho simple: ▪ Arena ▪ Antracita	Ascendentes Descendentes	Por gravedad Por presión
Rápidos 240-480 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	Lecho mixto: a) Lecho doble ▪ Arena ▪ Antracita b) Lecho triple ▪ Arena ▪ Antracita ▪ Granate	Ascendentes Descendentes	Por gravedad Por presión

Fuente:(Pérez, J., s.f.)

### 1.15.2.3 Filtración con zeolita

La filtración de agua empleando zeolita como medio filtrante es una operación que permite la purificación del agua con mayor rendimiento en comparación a la filtración realizada empleando otros medios filtrantes como son la arena y el carbón.

- *Zeolita*

Las zeolitas son sustratos filtrantes de origen natural que se caracterizan por su capacidad de hidratarse y deshidratarse reversiblemente, poseen una estructura a base de minerales volcánicos

y cristales que funcionan como intercambiadores de iones, a su vez poseen canales de materiales microporosos los cuales absorben los elementos contaminantes del agua purificando y filtrando.

Son minerales que comprenden silicatos alumínicos hidratados de metales alcalinos y alcalinotérreos.



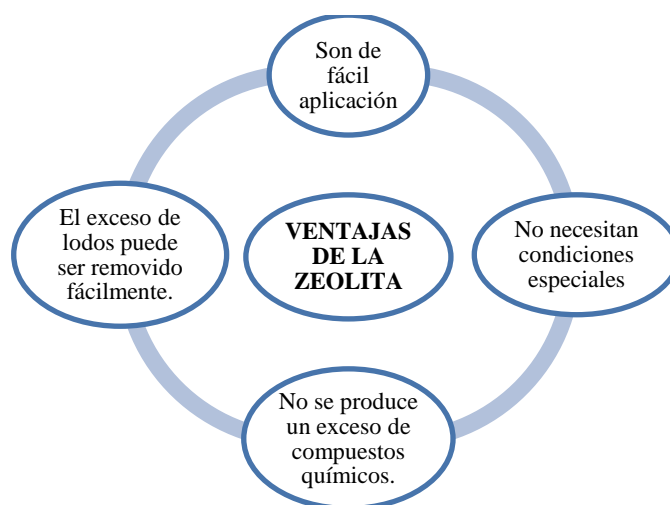
**Figura 16-1. Zeolita**

Fuente: (Basurto, c, & Villalba, J., 2013)

De acuerdo al tipo de zeolita empleada se pueden extraer diferentes minerales y alcanzar niveles de purificación de aguas bastante notables y no sólo lograr la remoción de fosfatos, sulfatos, y cloruros, sino también la eliminación de metales pesados como plomo, arsénico, níquel, cobre, calcio, magnesio, alcalinidad, dureza, etc.

Al mismo tiempo se reduce el incremento de actividad biológica, como son el número de bacterias coliformes y mesofílicas, mejora la eficiencia hidráulica, aumenta el empleo de nutrientes y oxígeno, se mejora notablemente la estabilidad de los lodos.

Entre las ventajas que ofrecen las zeolitas se encuentran las siguientes:



**Figura 17-1: Ventajas de la zeolita**

Realizado por: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

#### 1.15.2.4 Plantas de tratamiento de aguas residuales con tecnología de zeolitas activadas

Una planta de tratamiento de aguas residuales a base de zeolitas activadas puede ser dividida en dos etapas: una primaria de retención de sólidos y acondicionamiento de la corriente líquida y una secundaria de purificación del agua residual.

- *Etapla primaria*

En esta etapa las zeolitas actúan como un tamiz molecular reteniendo partículas de tamaño mayor a 8 angstroms ( $1 \times 10^{-8}$  cm).

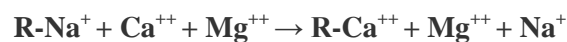
Los sólidos más pequeños son los microorganismos, entre ellos están los virus con tamaños mínimos de 30 angstroms los cuales quedan retenidos en el mineral.

- *Etapla secundaria*

Dentro de la etapa secundaria ocurren 3 fases, las cuales se explican a continuación:

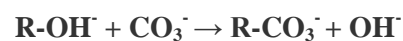
a) *Ablandamiento*

La zeolita activada intercambia iones  $\text{Na}^+$  por iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , eliminando básicamente la dureza del agua, definiendo el mineral por el radical R. La reacción es la siguiente:



b) *Deshidroxidación*

El mineral activado intercambia iones básicos ( $\text{OH}^-$ ) por radicales negativos como por ejemplo los carbonatos ( $\text{CO}_3^-$ ), eliminando principalmente la alcalinidad. La reacción es la siguiente:



c) *Purificación final*

La tercera fase del tratamiento con zeolita activada asegura la eliminación de especies vivas contaminantes, en respuesta al pH obtenido, puesto que en ciertos casos el pH final obtenido puede ser neutro en respuesta a la combinación de iones  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$  generados.

#### *1.15.2.5 Activación de zeolitas naturales*

Para la activación de zeolitas naturales se emplean diferentes reactivos químicos, entre estos tenemos soluciones de cloruro de sodio, soluciones de sosa cáustica preparada a partir de sosa sólida (escamas), en otro caso se puede emplear nitrato de plata en solución formulada a partir de plata metálica y ácido nítrico.

##### *a) Cloruro de sodio*

Es un compuesto iónico formado por un catión sodio ( $\text{Na}^+$ ) y un anión cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), es producido en masa por la evaporación de agua de mar o salmuera de otros recursos, como lagos salados y minando la roca de sal, llamada halita.

Para la activación de zeolitas se prepara una solución de cloruro de sodio (sal en grano) a cualquier concentración, generalmente suele ser al 10% y se deja actuar por unos 60 min, posteriormente se lava el mineral y se puede filtrar el agua a tratar.

##### *b) Sosa cáustica*

Es el hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) es un hidróxido cáustico muy corrosivo usado en la industria; a temperatura ambiente es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe la humedad del aire (higroscópico).

Para la activación de zeolita con sosa cáustica se prepara una solución a cualquier concentración y se sumerge la zeolita en la solución preparada dejando reposar por 60 minutos, se lava el mineral y se procede a filtrar el agua residual.

##### *c) Nitrato de plata*

El nitrato de plata es un compuesto inorgánico cuya fórmula es  $\text{AgNO}_3$ , este compuesto es corrosivo y es muy empleado en la industria química.

En la activación de zeolita se suele emplear nitrato de plata para retener o eliminar al máximo cualquier tipo de microorganismo que se encuentre en el agua residual.

### 1.15.2.6 Comparación de las zeolitas con resinas de intercambio iónico

A continuación muestra una tabla en donde se establecen comparaciones entre la zeolita y la resina de intercambio iónico.

**Tabla 18-1:** Comparación de medios filtrantes

Característica	Zeolitas	Resinas de intercambio iónico
<b>Definición</b>	Son minerales micro-porosos que se caracterizan por su capacidad de hidratarse y deshidratarse reversiblemente.	Son materiales sintéticos, sólidos e insolubles en agua, constituidos por polímeros de elevado peso molecular, capaz de intercambiar iones con una solución.
<b>Regeneración</b>	La regeneración no es cara, generalmente se emplean soluciones de cloruro de sodio.	Se regeneran con soluciones ácidas que son caras.
<b>Vida activa</b>	Larga	Corta
<b>Función</b>	Remover sólidos y purificar el agua	Eliminar específicamente la dureza (calcio, magnesio).

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

La zeolita se debe cambiar cada tres meses para evitar que esta pierda sus características de filtración y se logre una purificación óptima en el agua.

### 1.15.2.7 Filtro lento de zeolita

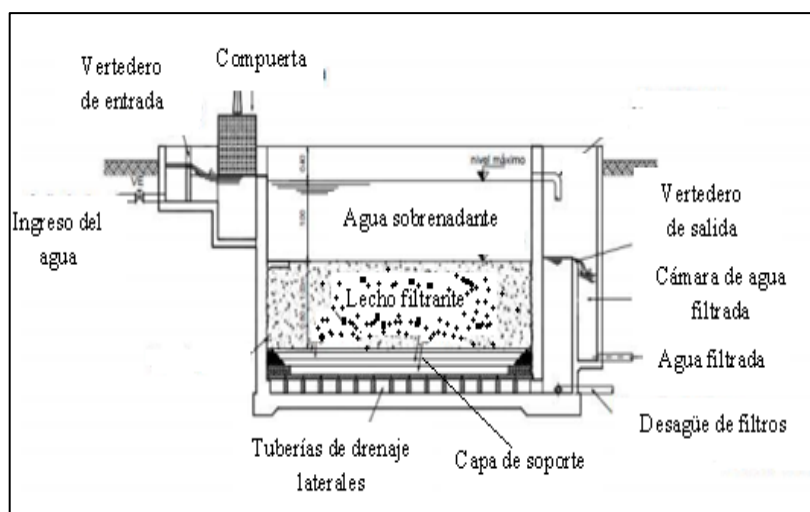
El filtro lento se caracteriza por ser un sistema sencillo, limpio y a la vez eficiente para el tratamiento del agua, su simplicidad y bajo costo de operación lo convierten en un sistema ideal para implementar en zonas rurales y pequeñas comunidades.

### 1.15.2.8 Dimensionamiento de un filtro lento de zeolita

Una unidad lenta de zeolita consta de los siguientes elementos:

- Caja de filtración
- Estructuras de entrada y salida
- Lecho filtrante
- Sistema de drenaje





**Figura 18-1. Filtro de zeolita**

Fuente: (Blacio, D, & Palacios, J., 2011)

**Caja de filtración y estructura de entrada:** La caja de filtro posee un área condicionada por el caudal a tratar, la velocidad de filtración y el número de filtros a operar en paralelo. La estructura de entrada consta de un vertedero, canales o conductos para la distribución adecuada del agua en el filtro, tiene como objetivo la estabilización, la medición y la eliminación de excesos de flujo del afluente.

**Lecho filtrante:** Es el medio filtrante que está compuesto por zeolita libre de arcilla y materia orgánica.

La profundidad del lecho filtrante para filtros lentos puede variar entre 0,60 m a 1m, pudiendo el filtro operar con un espesor mínimo de 0,30 m.

**Tabla 19-1:** Criterios de diseño para filtros lentos

Parámetro	Valor
Tasa de filtración	2,4 m/d
Medio	Zeolita
Altura del agua sobrenadante	1m – 1,5 m
Profundidad del medio filtrante	0,6-1,0 m
Tamaño efectivo del medio	0,35 – 0,70 mm (Valor típico 0,5 mm)
Coefficiente de uniformidad	1,8 – 2,0
Drenaje	Tubería perforada
Altura del drenaje	0,4 – 0,7 m
Tiempo de lavado	5 -15 min

Fuente: (Romero, 2008)

- **Área del filtro**

Es la superficie total del filtro la cual permite que se lleve a cabo la filtración. El área del filtro se expresa en m<sup>2</sup>.

Para determinar el área del filtro se emplea la siguiente ecuación:

$$A_F = \frac{Q}{T_{FL}}$$

**Ecuación 9-1**

Dónde:

$A_F$  = Área de filtración (m<sup>2</sup>)

$Q$  = Caudal de Diseño (m<sup>3</sup>/d)

$T_{FL}$  = Tasa de Filtración (m/d)

- **Numero de módulos**

El número de módulos hace referencia a la cantidad de unidades que se emplearán para la filtración, este parámetro depende del caudal. En plantas pequeñas el número mínimo es generalmente dos y aún uno, en plantas grandes el número mínimo de filtros es cuatro.

Se determina mediante la siguiente expresión:

$$N_F = 0,5 \times \sqrt{Q}$$

**Ecuación 10-1**

Dónde:

$N_F$  = Número de filtros

$Q$  = Caudal de diseño ( m<sup>3</sup>/d)

- **Coeficiente de mínimo costo**

El coeficiente de mínimo costo se define como la relación que existe entre la longitud y el ancho del filtro, pudiéndose determinar mediante la siguiente expresión:

$$K = \frac{L_F}{B_F}$$

**Ecuación 11-1**

Otra forma para determinar el coeficiente de mínimo costo es mediante la siguiente expresión:

$$K = \frac{(2 \times N_F)}{(N_F + 1)}$$

**Ecuación 12-1**

Dónde:

$K$  = coeficiente de mínimo costo (adimensional)

$L_F$  = longitud del filtro (m)

$B_F$  = ancho del filtro (m)

$N_F$  = Número de filtros

- **Longitud del filtro**

La longitud total del filtro es la dimensión total desde la zona de entrada hasta la zona de salida del filtro, se expresa en metros (m). Se determina de la siguiente manera:

$$L_F = (A_F \times K)^{1/2}$$

**Ecuación 13-1**

Dónde:

$L_F$  = Longitud del filtro (m)

$A_F$  = Área de filtración (m<sup>2</sup>)

$K$  = coeficiente de mínimo costo (adimensional)

- **Ancho del filtro**

Es la menor dimensión que presenta el filtro con respecto a sus otras dimensiones como largo y altura. Se expresa en metros y se determina empleando la siguiente expresión:

$$B_F = \left(\frac{A_F}{K}\right)^{1/2}$$

**Ecuación 14-1**

Dónde:

$B_F$  = ancho del filtro (m)

$A_F$  = Área de filtración (m<sup>2</sup>)

$K$  = coeficiente de mínimo costo (adimensional)

- **Altura del filtro**

Es la medida vertical máxima de la unidad de filtración, calculada desde el borde inferior hasta el borde superior de dicha unidad, incluyéndose la altura de la capa de agua, altura del lecho filtrante, altura de la capa de soporte y la altura del drenaje.

*Altura del agua sobrenadante:* es la medida vertical máxima que alcanza el agua sobre el lecho filtrante y se expresa en metros. La altura del agua sobre el lecho puede ser variable o constante, generalmente suele estar entre 1-1,5m.

*Altura del lecho filtrante:* se define como el espesor del medio filtrante empleado, el cual ha sido ubicado en la unidad de filtración y se expresa en metros (m).

*Altura de la capa de soporte:* es el espesor de la capa que suele estar formada de grava y sirve para dar soporte a la zeolita y permitir un drenaje uniforme en el mismo, se expresa en metros (m).

*Altura de drenaje:* es la altura del sistema de drenaje que se encuentra ubicado en la parte inferior de la capa de soporte de la unidad del filtro. Se expresa en metros (m).

$$Z_F = H_{CA} + H_{LF} + H_{CS} + H_D$$

**Ecuación 15-1**

Dónde:

$Z_F$ = Altura del filtro, (m)

$H_{CA}$ = Altura del agua sobrenadante (m)

$H_{LF}$ = Altura del lecho filtrante (m)

$H_{CS}$ = Altura de la capa de soporte (m)

$H_D$ = Altura de drenaje (m)

- **Volumen del filtro**

Es la magnitud que permite conocer la extensión del filtro en relación a sus tres dimensiones: alto, largo y ancho. El volumen se expresa en m<sup>3</sup>.

$$V_F = Z_F \times B_F \times L_F$$

**Ecuación 16-1**

Dónde:

$V_F$  = volumen del filtro ( $m^3$ )

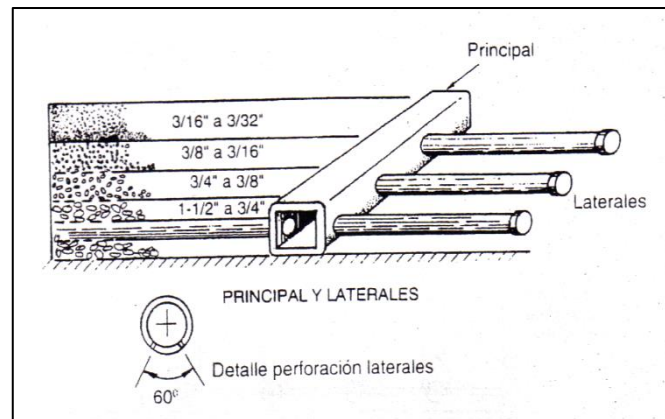
$Z_F$  = altura del filtro (m)

$B_F$  = ancho del filtro (m)

$L_F$  = Longitud del filtro (m)

### Sistema de drenaje

Es un medio indispensable dentro de un sistema de filtración que tiene como objetivos recolectar el agua filtrada y distribuir uniformemente el agua de lavado en el lecho filtrante, el sistema de drenaje incluye un lecho de soporte y una cámara de salida. Generalmente se emplean drenajes de tubería perforada, que consisten en una tubería múltiple o dren principal y varios laterales, estos pueden ser de concreto, de cerámica o PVC.



**Figura 19-1. Drenaje con tuberías perforadas**

Fuente: (Romero, 2000)

Para diseñar el sistema de drenaje se deben tomar a consideración los parámetros establecidos en la siguiente tabla:

**Tabla 20-1: Parámetros de diseño para drenaje por tuberías**

PARAMETRO	VALOR
Velocidad máxima en el principal	0,3 m/s
Velocidad máxima en los laterales	0,3 m/s
Espaciamiento de los laterales	1-2 m
Agujeros en los laterales, diámetro	2-4 mm
Espaciamiento entre agujeros en los laterales	0,1-0,3 m
Capa de grava de 25-50 mm	0,15 m

Fuente: (Romero, 2000)

- **Área de orificios de los laterales**

Es la superficie de cada uno de los orificios de los laterales que se encuentran formando parte del sistema de drenaje. Se expresa en m<sup>2</sup>.

$$A_{CO} = \frac{\pi \times D_o^2}{4}$$

**Ecuación 17-1**

Dónde:

$A_{CO}$  = Área de cada orificio (m<sup>2</sup>)

$D_o$  = Diámetro de los orificios (m)

- **Caudal que ingresa a cada orificio**

Es la cantidad de agua que pasa por cada uno de los orificios de los laterales que forman parte del sistema de drenaje en un determinado tiempo, se expresa en m<sup>3</sup>/s.

$$Q_I = A_{CO} \times v_{OF}$$

**Ecuación 18-1**

Dónde:

$Q_I = Q_D$  = Caudal de Ingreso (m<sup>3</sup>/s)

$A_{CO}$  = Área de cada orificio (m<sup>2</sup>)

$v_{OF}$  = Velocidad en el orificio (m/s)

- **Numero de laterales**

Es la cantidad de drenes o ramificaciones del dren principal que permiten recolectar el agua filtrada y distribuir de una forma uniforme el agua de lavado hacia el lecho filtrante.

$$N_L = N_{LF} \times \frac{L_{TP}}{S_{EL}}$$

**Ecuación 19-1**

Dónde:

$N_L$  = Numero de laterales, adimensional

$N_{LF}$  = Numero de laterales por lado (m)

$L_{TP}$ = Longitud total del filtro (m)

$S_{EL}$ = Separación entre laterales (m)

- **Separación entre orificios**

Es la distancia que existe entre un los orificios de los laterales o drenes, se expresa en metros (m).

$$S_o = \frac{\# \text{ orificios}}{\text{laterales}} = 2 \times \frac{L_{CL}}{e_o}$$

**Ecuación 20-1**

Dónde:

$L_{CL}$ = Longitud de cada lateral, (m)

$e_o$  = Espacio entre orificios, (m)

$S_o$  = Separación entre orificios, adimensional

- **Número total de orificios**

Es la cantidad de orificios que se encuentran ubicados en los drenes y que permite la del agua filtrada y la entrada del agua de lavado.

$$N_o = \# \text{ total de orificios} = N_L \times S_o$$

**Ecuación 21-1**

Dónde:

$N_o$  = Número total de orificios, adimensional

$N_L$  = Número de laterales, adimensional

$S_o$  = Separación entre orificios, adimensional

- **Área total de orificios**

Es la superficie total que están ocupando los orificios que se encuentran en los drenes o laterales, se expresa en m<sup>2</sup>.

$$A_{TO} = A_{CO} \times N_o$$

**Ecuación 22-1**

Dónde:

$A_{TO}$  = Área total de orificios, (m<sup>2</sup>)

$A_{CO}$  = Área de cada orificio, (m<sup>2</sup>)

$N_O$  = Número total de orificios, adimensional

- **Diámetro de la tubería de salida del filtro**

Se refiere a la medida que proporciona el ancho de la tubería que permite la salida del flujo de agua filtrada, se expresa en metros (m).

$$D_{TS} = \sqrt{\frac{4 \times Q_I}{v_S \times \pi}}$$

**Ecuación 23-1**

Dónde:

$D_{TS}$  = Diámetro de la tubería de salida del agua del filtro, (m)

$Q_I = Q_D$  = Caudal de Ingreso, (m<sup>3</sup>/s)

$v_S$  = Velocidad del agua a través de la Tubería de salida, (m/s)

**Tabla 21-1:** Velocidades de diseño para tuberías del filtro

Tubería	Velocidad m/s
Afluente	0,3-12
Efluente	0,9-1,8
Agua de lavado	1,5-3,00
Drenaje agua de lavado	0,9-2,4
Drenaje de agua filtrada	1,8-3,6

Fuente:( Romero, 2000)

**Capa de soporte:** Se refiere a la capa de grava que va colocada debajo del lecho filtrante, esta tiene dos funciones: la primera es servir de soporte al medio filtrante para que este no se pierda por el drenaje durante la filtración y su segunda función es distribuir uniformemente el agua de lavado, evitando la formación de chorros.

La capa de soporte debe tener una altura de 0,15 m.

**Cámara de salida:** El nivel mínimo del filtro se controla mediante el vertedero de salida, el cual se debe ubicar en el mismo nivel, a 0,10 m por encima de la superficie del lecho filtrante, la estructura de salida permite la recolección del agua filtrada.



## Sistema de lavado

El lavado del filtro es la operación por la cual se suspende el proceso de filtración y se inyecta agua por la parte de abajo del filtro (drenes) con presión adecuada, con la finalidad de que el lecho filtrante se expanda, los granos se froten y se desprenda todo el material que ha quedado retenido entre ellos en la operación del filtrado.

Este proceso debe hacerse cada vez que la calidad del efluente sea baja, el sistema empleado para el lavado del filtro, este se realiza generalmente de dos maneras diferentes:

*Lavado con flujo ascendente:* El agua se inyecta por los drenes con una velocidad adecuada que produzca la expansión deseada del lecho. En caso de que la temperatura sea mayor la velocidad necesaria también será mayor para producir la misma expansión.

*Con flujo ascendente y lavado superficial:* El lavado ascensional se complementa con el lavado superficial cuando se ve la necesidad, el lavado superficial consiste en lanzar agua a presión sobre la superficie del lecho, se emplea para remover el lodo que se deposita en las primeras capas del lecho el cual disminuye la eficiencia de la filtración y al lavado ascensional.

El método consiste en sacar de funcionamiento el filtro y dejar que se vacíe hasta aproximadamente 30 cm sobre la superficie del lecho y a continuación se inyecta sobre el lecho agua a presión durante unos cuantos minutos y posteriormente se aplica el lavado ascensional como anteriormente fue descrito.

- ***Cálculo de la velocidad de lavado***

Se refiere a la velocidad con la que el agua ingresa de forma ascensional por los drenes y llega al lecho filtrante de zeolita.

Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$V_{LF} = C_U \times T_E$$

**Ecuación 24-1**

Dónde:

$C_U$  = Coeficiente de uniformidad de la zeolita (adimensional)

$T_E$  = Tamaño efectivo de la zeolita

- **Volumen de agua en el lavado**

Es la cantidad de agua empleada en el lavado del filtro, la cual ha sido inyectada de modo ascensional para lavar el lecho filtrante, se expresa en m<sup>3</sup>.

$$V_{LV} = v_{LF} \times A_F \times \theta$$

**Ecuación 25-1**

Dónde:

$v_{LF}$ = velocidad de lavado

$A_F$ = Área del filtro (m<sup>2</sup>)

$\theta$  = tiempo de lavado (h)

### 1.16 Deshidratación de los lodos

La deshidratación es un procedimiento físico en el cual el contenido de humedad se reduce.

#### 1.16.1 Lecho de secado

Un lecho de secado, era o cancha de secado es un sistema sencillo de bajo costo que permite la deshidratación de los lodos procedentes del tratamiento de las aguas residuales, este sistema elimina el agua presente en los lodos mediante evaporación dejando un residuo sólido con un contenido de humedad inferior al 70%.

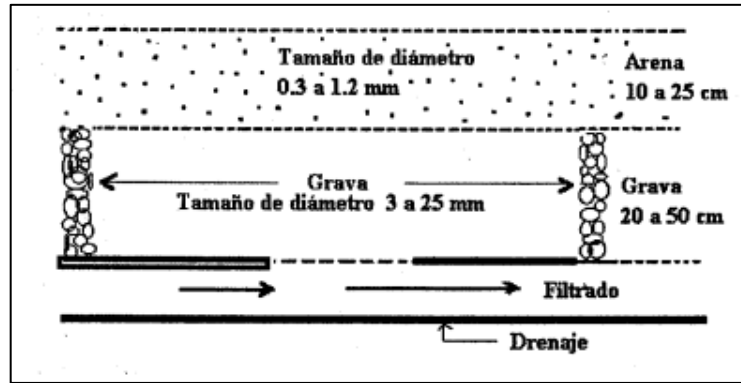
**Tabla 22-1:** Tipo de lechos de secado

Tipo de lecho	Descripción
Arena	Está formado por una capa de arena fina que reposa sobre una capa de grava, los drenajes generalmente son tuberías perforadas.
Pavimento	Este lecho está formado por suelos con mayor capacidad de soporte, materiales rocosos, hormigón y mezclas asfálticas. Requieren áreas más grandes que los lechos de arena y es apropiado para climas áridos y calientes.
Medio artificial	Originalmente en este lecho el medio empleado era el acero inoxidable pero actualmente se emplea poliuretano.
Con ayuda de vacío	Es un lecho normal en el que se aplica vacío en la parte inferior de una placa del medio poroso sobre la cual se coloca el lodo condicionado con polímeros. El vacío empuja el agua a través de la placa y el lodo deshidratado se acumula sobre la superficie.

Fuente: (Crites, 2000)

### 1.16.1.1 Lecho de arena

Es un sistema que facilita la deshidratación de los lodos procedentes de la decantación del agua residual, está formado por una capa de arena fina la cual reposa sobre una capa de grava y además dispone de un drenaje de tubería plástica perforada.



**Figura 20-1. Lecho de secado de arena**

Fuente: (*Deshidratación y secado del lodos*, s.f.)

### 1.16.1.2 Mecanismos de secado de lodos en lechos de arena

En el secado de lodos en lechos de arena actúan dos mecanismos:

*Infiltración:* la proporción de agua eliminada por este mecanismo es del 20-55%, dependiendo del contenido inicial de sólidos en el lodo y de las características de los sólidos.

*Evaporación de agua.:* a través de los mecanismos de radiación y convección. La velocidad de evaporación es más lenta que la infiltración y depende de la temperatura, humedad relativa y velocidad del aire.

### 1.16.1.3 Diseño del lecho de secado

El diseño característico de un lecho de secado suele ser una de forma rectangular, poco profunda que puede tener o no un sistema de drenaje.

El lodo producido se coloca sobre el lecho en capas de 20 a 40 cm de espesor y posteriormente se deja secar al ambiente.

**Tabla 23- 1:** Parámetros para el diseño de un lecho de secado de arena

Parámetro	Valor
Altura de la arena fina	0,30 m
Altura de la grava	0,20-0,46 m
Tamaño efectivo de la arena	0,3-0,75 mm
Coefficiente de uniformidad	< 3,5
Tamaño de la grava	2,5-25 mm
Drenaje	Tubería plástica perforada
Diámetro de las tuberías (drenaje)	0,10 m
Ancho del lecho de secado	1,5m
Altura del lecho de secado	0,6 m

Fuente: (Crites, 2000)

El material empleado en el lecho de secado debe tener un espesor determinado, generalmente la grava duplica el espesor de la arena., por ello, la grava tendrá un espesor de 0,40m y la arena 0,20m.

- **Carga de sólidos**

Es la cantidad de sólidos suspendidos que se encuentran en el agua residual al ingreso del sedimentador. Se expresa en Kg/d.

$$C = Q \times SS$$

**Ecuación 26-1**

Dónde:

$C$  = Carga de sólidos (Kg/d)

$Q$  = caudal de diseño (L/s)

$SS$ = Sólidos suspendidos (mg/L)

- **Masa de sólidos**

Es la cantidad de sólidos que se encuentran formando parte del lodo obtenido después de la sedimentación. Se expresa en Kg/d.

$$M_{sd} = (0,5 \times 0,7 \times 0,5 \times C) + (0,5 \times 0,3 \times C)$$

**Ecuación 27-1**

Dónde:

$M_{sd}$  = Masa de sólidos (Kg/d)

$C$  = Carga de sólidos que ingresan al sedimentador

- ***Volumen del lodo***

Es el espacio que ocupa el lodo que se ha producido en la sedimentación y se expresa en  $m^3$ .

$$V_{dl} = \frac{M_{sl}}{\rho_l}$$

**Ecuación 28-1**

Dónde:

$V_{dl}$  = volumen diario del lodo ( $m^3$ )

$M_{sl}$  = masa de sólidos (Kg/d)

$\rho_L$  = densidad del lodo ( $Kg/m^3$ )

- ***Área del lecho de secado***

Es la superficie total del lecho, o eras de secado la cual permite que la operación de secado se efectúe adecuadamente. El área del lecho se expresa en  $m^2$  y se determina mediante la siguiente expresión:

$$A_{LS} = \frac{V_{dl}}{H_L}$$

**Ecuación 29-1**

Dónde:

$A_{LS}$  = área del lecho de secado ( $m^2$ )

$V_{dl}$  = volumen diario de lodos ( $m^3$ )

$H_{LS}$  = Altura del lecho de secado (m)

- ***Longitud del lecho de secado***

La longitud del lecho de secado es la distancia que existe entre los dos extremos del lecho, se expresa en metros (m) y se determina de la siguiente manera:

$$L_{LS} = \frac{A_{LS}}{B_{LS}}$$

**Ecuación 30-1**

Dónde:

$L_{LS}$  = longitud del lecho de secado (m)

$A_{LS}$  = área del lecho de secado ( $m^2$ )

$B_{LS}$  = ancho del lecho de secado (m)

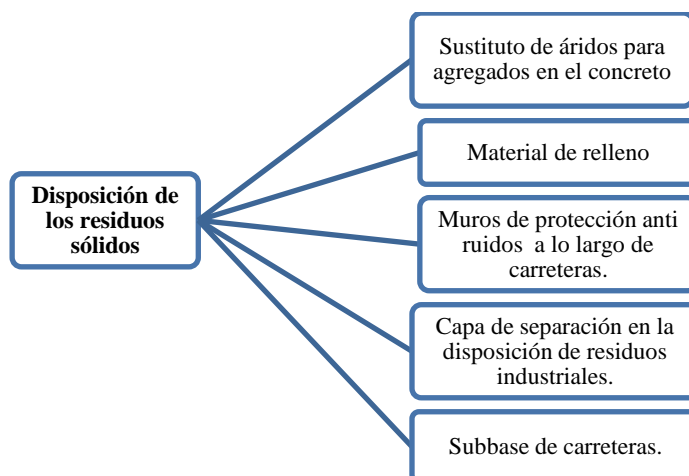
### 1.17 Disposición de residuos sólidos

En el sector de la construcción se ha estimado que aproximadamente un 30 ó 40 % de los residuos procedentes de la fabricación de hormigón o cemento pudieran ser completamente reciclados.

En ciertas ocasiones los hormigones aún frescos pueden ser devueltos a la planta, en este caso se puede emplear este material para la elaboración de bloques y muros de protección antiruido, los cuales pueden construirse en la misma planta o en carreteras y caminos, este mismo principio se puede aplicar a los lodos procedentes de la decantación, siempre y cuando su utilización no sea estructural.

Una de las aplicaciones más aceptadas es el reciclaje como sustituto de áridos para agregados en el concreto, para ello se permite la utilización de los áridos recuperados de las aguas de lavado o del hormigón fresco en cantidades inferiores al 5% del total de los áridos e incluso por encima de este valor siempre que estos sean del tipo de árido que se esté utilizando en el hormigón, que hay sido separados en fracciones gruesa y fina. (Cedex, 2007, p. 10)

Otra aplicación para estos lodos es emplearlos como material de relleno, una vez que hayan sido solidificados evitando desde luego un elevado costo de la disposición en vertederos.



**Figura 21-1: Disposición de residuos sólidos**

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

### **1.18 Norma para el tratamiento del agua residual**

La caracterización del agua residual se realizará en base a la Norma NTE INEN 2617:2012. Hormigón de Cemento Hidráulico. Agua para Mezcla. Requisitos., puesto que se pretende emplear el agua tratada en la fabricación de hormigón premezclado. VER ANEXO A.

Por otro lado es posible que llegue un punto en donde el agua tenga que desecharse, para ello se empleará la normativa emitida por el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria "TULSMA". Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua Libro VI, Anexo 1, Tabla 9. VER ANEXO B

### **1.19 Muestreo del agua residual**

Para realizar un muestreo es importante considerar la localización de la descarga con el fin de determinar la posibilidad de tomar las muestras directamente, existen dos tipos de muestras, muestras puntuales o simples y muestras compuestas.

#### ***1.19.1 Muestra Simple***

Son muestras tomadas en un lugar representativo, en un determinado momento, se emplea cuando el caudal y composición del agua residual es relativamente constante. Estas muestras son seleccionadas especialmente para analizar la acidez, alcalinidad, grasas y aceites, oxígeno disuelto, cloro residual, temperatura, pH, y coliformes.

#### ***1.19.2 Muestra compuesta***

Es la mezcla de varias muestras puntuales de una misma fuente, tomadas a intervalos programados y por periodos determinados, proporciona las características de una muestra más representativa.

Se emplea cuando el flujo del agua residual es intermitente y cuando las muestras pueden ocultar condiciones extremas de las aguas residuales, los parámetros a determinar son sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables, DBO, DQO, Nitrógeno total.

El volumen de este tipo de muestras se lo puede determinar tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

*Sin considerar el flujo:* se mezclan alícuotas de iguales volúmenes a medida que se van obteniendo o al colectarse la última muestra.

*En función del flujo:* con los datos de su comportamiento durante el tiempo de muestreo se calcula la proporción entre las alícuotas y con base a esta y el volumen de la muestra compuesta necesaria se determinan los volúmenes de cada alícuota y se procede a su mezcla.

## **1.20 Determinación de caudales**

Para realizar el óptimo dimensionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales, es necesario conocer el caudal y las diferentes variaciones que presenta, puesto que este es uno de los parámetros principales que influyen en el diseño de la planta de tratamiento.

### **1.20.1 Medición de caudales**

Se define al caudal como la cantidad de líquido que fluye en un determinado espacio por unidad de tiempo. Para determinar el caudal se emplea la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{t}$$

**Ecuación 31-1**

Dónde:

$Q$  = caudal (m<sup>3</sup>/d)

$V$  = volumen (m<sup>3</sup>)

$t$  = tiempo (d)

Un aspecto importante a considerar es que en este caso el caudal del agua residual generada varía según la producción diaria de hormigón.

#### **1.20.1.1 Caudal**

El caudal es la cantidad de fluido medido en volumen que se mueve en una unidad de tiempo, también se lo conoce como flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.



### 1.20.1.2 Métodos para la medición de caudales

Para medir el caudal generalmente se emplean dos métodos: el método volumétrico y el método velocidad/superficie.

- *Método volumétrico:* este es el método más sencillo para determinar caudales pequeños, y consiste en medir el tiempo necesario para llenar un recipiente de volumen conocido.
- *Método velocidad/superficie:* este método depende del área de la sección a través de la cual recorre el agua y de la velocidad media de la corriente, para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$Q = v \times A$$

**Ecuación 32-1**

Dónde:

$Q$  = caudal (m<sup>3</sup>/h)

$v$  = velocidad media (m/s)

$A$  = área (m<sup>2</sup>)

La velocidad se la puede calcular empleando un objeto flotante y tomando el tiempo que se demora al recorrer una distancia conocida.

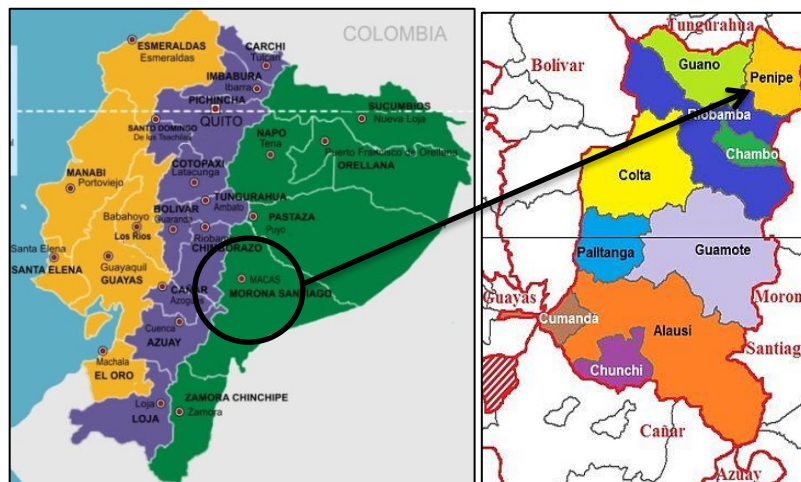
## CAPÍTULO II

### 2 PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1 Localización de la investigación

##### 2.1.1 Macrolocalización

La ejecución del proyecto será en la Hormigonera de los Andes parroquia de San Andrés, Cantón Guano, Provincia Chimborazo, Ecuador.

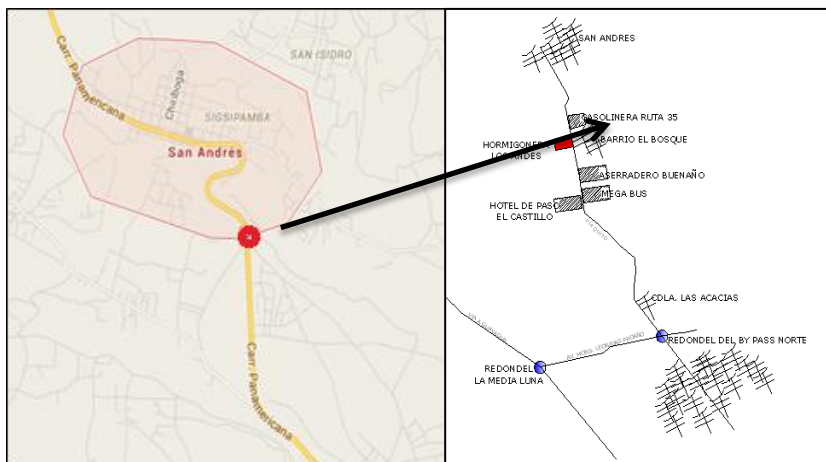


**Figura 1-2. Macrolocalización de la Hormigonera de los Andes**

Fuente: Foros Ecuador

##### 2.1.2 Microlocalización

La Hormigonera de los Andes que está situada en el Km 5 Panamericana Norte (vía Ambato), barrio el Bosque (sector Sicsipamba), Parroquia San Andrés, cantón Guano.



**Figura 2-2: Microlocalización de la Hormigonera de los Andes**

Fuente: Hormigonera de los Andes

## **2.2 Metodología**

### ***2.2.1 Medición de caudales***

Para la medición de caudales se ha tomado como referencia la cantidad de agua diaria que se genera después de ejecutar la operación de lavado de los camiones de carga de hormigón, tomando en cuenta varias consideraciones como es la cantidad diaria de hormigón producido, el número de camiones despachados para cada obra y el volumen de agua requerida para la limpieza del tambor del camión de carga de hormigón.

### ***2.2.2 Metodología de trabajo***

Los análisis físico-químicos se realizaron en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Se recolectaron 3 muestras simples durante dos semanas.

Una vez recolectadas las muestras, estas fueron transportadas al laboratorio antes de las 12 horas con el fin de obtener resultados reales y así determinar los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles para el agua de mezcla de hormigón, basados en la Norma NTE INEN 2617:2012. Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.

### ***2.2.3 Tratamiento de las muestras***

Una vez que las muestras han sido recolectadas y transportadas al laboratorio se procede a realizar su respectiva caracterización, en donde los parámetros más importantes a analizar son cloruros, sulfatos, sólidos totales, alcalinidad y pH, puesto que estos son los principales parámetros que determinan la calidad del agua para la elaboración de hormigón premezclado, además se analizó álcalis en el laboratorio exterior CESTTA.

Por otra parte, uno de los objetivos del tratamiento es reutilizar el agua en la elaboración de hormigón premezclado, para ello se realizaron también dos ensayos con el agua tratada siendo estos: ensayo de resistencia del hormigón y tiempo de fraguado, los mismos que determinan si el agua tratada es apta para la elaboración del hormigón, estos ensayos se realizaron en el laboratorio LABCOS (Laboratorio del Concreto y Suelos).

## **2.3 Muestreo**

### ***2.3.1 Recolección de la información***

Las muestras de agua residual fueron recolectadas según un muestreo simple sin considerar el flujo. Se procedió a recolectar 1000 ml de agua residual procedente de un camión y luego 1000 ml de otro por muestreo simple para posteriormente mezclarlos y obtener una muestra más representativa.

Cabe señalar que el muestreo no se pudo realizar con más muestras simples como sería lo adecuado puesto que la gran cantidad de sólidos procedentes de cemento que presenta esta agua tienden a solidificarse si se los deja en reposo durante varios días. El muestreo se realizó en el punto de descarga de los camiones de hormigón.

## **2.4 Métodos y técnicas**

### ***2.4.1 Métodos***

Para el diseño del sistema de tratamiento de aguas industriales y para su posterior reutilización en la producción de hormigón se requiere analizar una serie de parámetros que determinan su factibilidad, entre ellos tenemos: pH, cloruros, sulfatos, álcalis, sólidos totales entre otros, empleando métodos de análisis gravimétricos, volumétricos y físico-químicos, los cuales se realizaron en el Laboratorio de Aguas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

#### ***2.4.1.1 Inductivo***

Este método permite determinar un principio general por medio de experiencias particulares, en el presente trabajo se lo ha empleado al muestrear el agua, al caracterizar la misma y la tratabilidad para verificar si el resultado final es el esperado para la elaboración de hormigón, siendo el punto de partida para el diseño y dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales.

#### ***2.4.1.2 Deductivo***

Por método deductivo se entiende que es aquel que permite ir de un principio general a experiencias particulares, en la investigación se lo ha empleado para el desarrollo del sistema de

tratamiento de aguas industriales generadas en una hormigonera tomando como referencia otros estudios realizados con el mismo fin, considerando que su diseño está en función del volumen de agua empleado en la limpieza, en la caracterización del agua, entre otros.

#### *2.4.1.3 Experimental*

Se ha empleado el método experimental basado en el estudio a nivel de laboratorio en donde se miden ciertos parámetros de interés en el agua residual con el fin de encontrar las condiciones óptimas para el dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas para la recirculación en los procesos industriales de la Hormigonera de los Andes.

#### *2.4.2 Técnicas*

Las técnicas empleadas para la determinación de los parámetros en el agua residual están basadas en el manual “Standar Methods for Examination of Water and Wastewater” (Métodos Normalizados para el análisis de Agua Potable y Residuales); y también en el manual de Métodos HACH.

**Tabla 1-2: STANDAR METHODS \*4500-B: Determinación del pH**

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El pH es un parámetro que expresa el grado de alcalinidad o acidez del agua, en una escala del 1 al 14.</p> <p>Si el agua es ácida presenta un pH menor a 7 y si es básico un pH mayor a 7 y si es neutro un pH igual a 7.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH metro</li> <li>• vaso de precipitación de 250ml</li> </ul>	<p>Solución buffer</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar que el pH metro esté calibrado.</li> <li>• Introducir el electrodo en el vaso de precipitación que contiene el agua.</li> <li>• Leer directamente el valor en el equipo.</li> </ul>	<p>Lectura directa.</p>

Fuente: *STANDAR METHODS\* 4500*

**Tabla 2-2:** STANDAR METHODS\* 2510-B: Determinación de la conductividad

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La conductividad se la define como el movimiento de carga por iones en solución, por reacción electroquímica en la superficie de los electrodos y por movimiento de electrones en metales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductímetro</li> <li>• vaso de precipitación de 250ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se coloca la muestra en un recipiente, la muestra debe ser previamente agitada.</li> <li>• Se coloca el electrodo del conductímetro en la muestra.</li> </ul>	<p>Lectura directa.</p>

Fuente: *STANDAR METHODS\* 2510-B*

**Tabla 3-2:** STANDAR METHODS\* 2320-C: Determinación de la alcalinidad total

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La alcalinidad del agua es la capacidad para neutralizar los ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables, el valor medido puede variar significativamente con el pH. Depende del contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos por lo que se puede tomar como una medida directa de la concentración de estos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bureta</li> <li>• Pipetas</li> <li>• Erlenmeyer de 250 ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido sulfúrico 0.1 N</li> <li>• Fenofaleína (indicador)</li> <li>• Naranja de metilo (indicador)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar 25 ml de muestra.</li> <li>• Añadir 2 gotas de fenofaleína (rosado)</li> <li>• Titular con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.1 N hasta incoloro (pH=6.1)</li> <li>• Añadir 3 gotas de Naranja de metilo.</li> <li>• Titular con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.1N</li> <li>• Cambio de color de Naranja a rosado.</li> </ul>	$\text{Alcalinidad, mg CaCO}_3/\text{L} = \frac{A \times N \times 50}{m}$ <p>Dónde:                      A= volumen (ml) de ácido sulfúrico gastado                      N= Normalidad del ácido sulfúrico                      m=volumen de muestra (ml)</p>

Fuente: STANDAR METHODS\* 2320-C



**Tabla 4-2:** STANDAR METHODS\* 4500 Cl<sup>-</sup> B: Determinación de cloruros

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Se busca determinar la concentración de iones cloruros de una muestra de agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bureta</li> <li>• Erlenmeyer de vidrio de 250 ml</li> <li>• Cápsula de agitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cromato de potasio (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>)</li> <li>• Nitrato de plata (AgNO<sub>3</sub>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar 25 ml de muestra.</li> <li>• Añadir 4 gotas de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub></li> <li>• Titular con AgNO<sub>3</sub> 0.01 N</li> <li>• Cambio de color de la solución de AMARILLO a ROJO LADRILLO.</li> </ul>	$mg/l Cl^- = \frac{V_g AgNO_3 \times N(0.01) \times PM_{Cl} \times 1000}{V_m}$ <p>Dónde:</p> <p>V<sub>g</sub>= Volumen gastado de AgNO<sub>3</sub></p> <p>N= Normalidad del AgNO<sub>3</sub></p> <p>PM= Peso Molecular del Cloro</p> <p>V<sub>m</sub>= Volumen de la muestra (agua residual)</p>

Fuente: STANDAR METHODS\* 4500 Cl<sup>-</sup> B

**Tabla 5- 2: MÉTODO EN HACH DR2800: Determinación de sulfatos**

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Se busca determinar la concentración de iones sulfato de una muestra de agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaso de precipitación</li> <li>• Piseta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactivo sulfaver.</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar en la pantalla: Programas Almacenados</li> <li>• seleccionar el test: 685 SULFATO AV</li> </ul> <p><u>Preparación de la muestra:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml con muestra.</li> <li>• Añadir el contenido de un sobre de reactivo sulfaver en polvo.</li> <li>• Agitar con rotación para mezclar.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa ok.</li> <li>• Comienza un periodo de reacción</li> </ul> <p><u>Preparación el blanco:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Llevar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml con agua destilada.</li> <li>• Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia el frente.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: cero</li> <li>• La pantalla indicará: 0.00 mg/L SO<sub>4</sub><sup>-2</sup></li> <li>• Limpiar bien el exterior de la cubeta (muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia el frente.</li> <li>• Seleccionar en la pantalla: Medición</li> </ul>	<p>Medición directa en el equipo.</p>

Fuente: MÉTODO EN HACH DR2800

**Tabla 6-2: STÁNDAR METHODS\* 2540-C: Determinación de sólidos sedimentables**

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Indica la cantidad de partículas que se encuentran retenidas en el agua residual.</p> <p>Generalmente este parámetro es expresado en miligramos por litro - mg/l.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cono de Imhoff graduado de 1000 ml</li> <li>• Soporte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra de agua residual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llénese un cono Imhoff con la muestra bien mezclada.</li> <li>• Dejar sedimentar por 1 hora.</li> <li>• Anotar el valor indicado.</li> </ul>	<p>Medida directa expresada en ml/l ó mg/L.</p>

Fuente: STÁNDAR METHODS\* 2540-C

**Tabla 7- 2:** STANDAR METHODS\* 2540 – B: Determinación de sólidos suspendidos totales

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Los sólidos en suspensión son partículas que permanecen retenidas en el agua debido al movimiento del líquido o debido a que la densidad de la partícula es menor o igual que la del agua. La concentración de sólidos en suspensión es un valor empleado como uno de los indicadores de la calidad del agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estufa</li> <li>• Balanza analítica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra de agua residual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesarse el papel filtro.</li> <li>• Filtrar una muestra bien mezclada de agua residual.</li> <li>• El residuo retenido en el mismo se seca a 103-105 °C. por dos horas.</li> <li>• Pesarse el papel filtro seco con la muestra.</li> </ul>	$SST = \frac{(A - B) \times 1000}{V}$ <p>Dónde:</p> <p>SST= sólidos suspendidos totales (mg/L)</p> <p>A= peso del residuo seco +filtro (mg)</p> <p>B= tara del filtro</p> <p>V= volumen de la muestra (mL)</p>

Fuente: STANDAR METHODS\* 2540 – B

**Tabla 8-2:** STANDAR METHODS\* 2540 – D: Determinación de sólidos disueltos totales

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Los sólidos totales disueltos es la cantidad de materia disuelta en un volumen de agua. Se puede calcular sumando todos los cationes y aniones indicados en la parte del análisis del agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaso de precipitación</li> <li>• Electrodo sensible de HACH.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra de agua residual</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar una muestra del agua a analizar.</li> <li>• Introducir el electrodo en el vaso con el agua problema.</li> <li>• Realizar la lectura y anotar.</li> </ul>	<p>Medición directa.</p>

Fuente: STANDAR METHODS\* 2540

**Tabla 9-2: STANDAR METHODS\* 2540 – A: Determinación de sólidos totales**

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La determinación de los sólidos totales permite estimar los contenidos de materias disueltas y suspendidas presentes en un agua, pero el resultado está condicionado por la temperatura y la duración de la desecación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cápsulas de evaporación.</li> <li>• Estufa</li> <li>• Desecador</li> <li>• Balanza analítica</li> </ul>	<p><b>Preparación de la cápsula de evaporación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Encender la estufa a 103-105°C.</li> <li>• Introducir una cápsula limpia durante una hora.</li> <li>• Llevar la cápsula al desecador hasta que se vaya a emplear.</li> <li>• Pesarla inmediatamente antes de usar y registrar el dato (Peso A).</li> </ul> <p><b>Determinación de sólidos totales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Esperar que la muestra se encuentre a temperatura ambiente.</li> <li>• Seleccionar el volumen de muestra de acuerdo al aspecto de la misma; habitualmente éste estará entre 25 y 100 mL.</li> <li>• Mezclar bien la muestra y depositar el volumen seleccionado en la cápsula de evaporación previamente tarada.</li> <li>• Colocar la cápsula en una placa calefactora y evaporar la muestra hasta casi sequedad pero evitando ebullición y salpicaduras.</li> <li>• Llevar la muestra evaporada a la estufa a 103-105°C por 1 hora. Enfriar la cápsula en el desecador.</li> <li>• Pesar rápidamente para evitar cambios en el peso por exposición al aire y/o degradación del residuo y registrar los datos.</li> <li>• Repetir el calentamiento sólo por 1 hora, hasta que la diferencia con la pesada previa sea &lt; 4% ó &lt; 0.5 mg (seleccionar el valor que resulte menor), con lo cual se considera se obtuvo peso constante., el peso finalmente obtenido será Peso B</li> </ul>	$mg\ ST/l = \frac{(B - A) \times 1000}{V}$ <p>Dónde:</p> <p>A= peso de la cápsula de evaporación vacía (en mg)</p> <p>B= peso de la cápsula de evaporación + residuo seco (en mg)</p> <p>V= Volumen de la muestra en ml.</p>

Fuente: STANDAR METHODS\* 2540 – A

**Tabla 10-2:** Determinación de álcalis

FUNDAMENTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Este método de ensayo comprende la determinación de óxido de sodio (Na<sub>2</sub>O) y óxido de potasio (K<sub>2</sub>O).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipo de absorción atómica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carbonato de calcio</li> <li>• Cloruro de potasio</li> <li>• Cloruro de sodio</li> </ul>	<p><b>Procedimiento para Na<sub>2</sub>O:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparar y ajustar el instrumento para la determinación de Na<sub>2</sub>O.</li> <li>• Inmediatamente seguido al proceso de ajuste y sin cambiar ningún parámetro del instrumento, atomizar la solución de cemento y anotar la lectura de la escala</li> <li>• Seleccionar las soluciones patrón, las cuales incluyan cercanamente la concentración de Na<sub>2</sub>O de la muestra de cemento y observar sus lecturas.</li> <li>• Alternar el uso de la solución de muestra desconocida y las soluciones patrón de similar concentración hasta que las lecturas de la muestra coincidan con una división de la escala de transmitancia o de medida, o esté dentro del 0,01 de porcentaje en masa para instrumentos con lectura digital y las lecturas de los patrones similarmente coincidan con los valores de calibración.</li> </ul> <p><b>Procedimiento para K<sub>2</sub>O</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Repetir el procedimiento descrito anteriormente, <i>excepto</i> que el instrumento debe ser ajustado para la determinación de K<sub>2</sub>O. Para instrumentos que lean simultáneamente ambos óxidos, determinar el K<sub>2</sub>O al mismo tiempo que se determina el Na<sub>2</sub>O.</li> </ul>	<p>La medición es directa en el equipo.</p>

## 2.5 Datos experimentales

### 2.5.1 Producción de hormigón

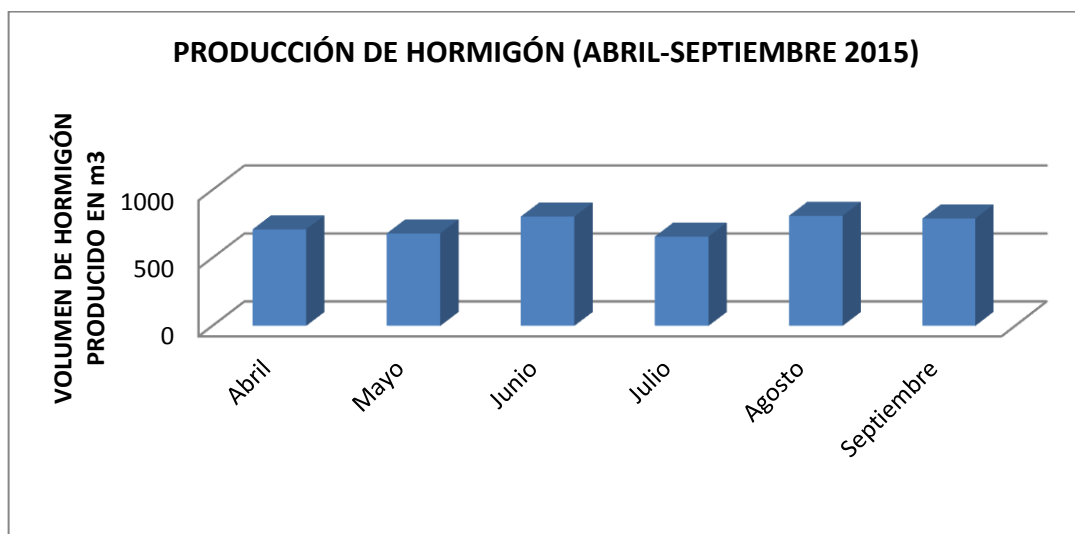
La producción de hormigón en la empresa no es fija puesto que depende de la demanda del cliente, mensualmente se produce un promedio de 742 m<sup>3</sup> de hormigón y con ello se generan aguas residuales procedentes del lavado de los camiones de carga.

A continuación se muestra una tabla en donde se establece el volumen de hormigón fabricado en los meses de Abril hasta Septiembre.

**Tabla 11-2:** Producción de hormigón (Abril 2015- Septiembre 2015)

Mes	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	PROMEDIO
Volumen de hormigón (m <sup>3</sup> )	710	680	804	657	810	790	741,84

Fuente: Hormigonera de los Andes



**Gráfico 1-2. Producción de hormigón**

Fuente: Hormigonera de los Andes

### 2.5.2 Cantidad de agua generada

Para el diseño del sistema de tratamiento de aguas se considerará la producción diaria más alta en los últimos meses, siendo 96 m<sup>3</sup> de hormigón y considerando la siguiente información:



**Tabla 12-2:** Información para determinar la cantidad de agua generada

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Producción máxima de hormigón	96 m <sup>3</sup>	Número de mixer requeridos	12
Capacidad de carga de un mixer	8 m <sup>3</sup>	Volumen de agua empleada para lavar un mixer	90 gal

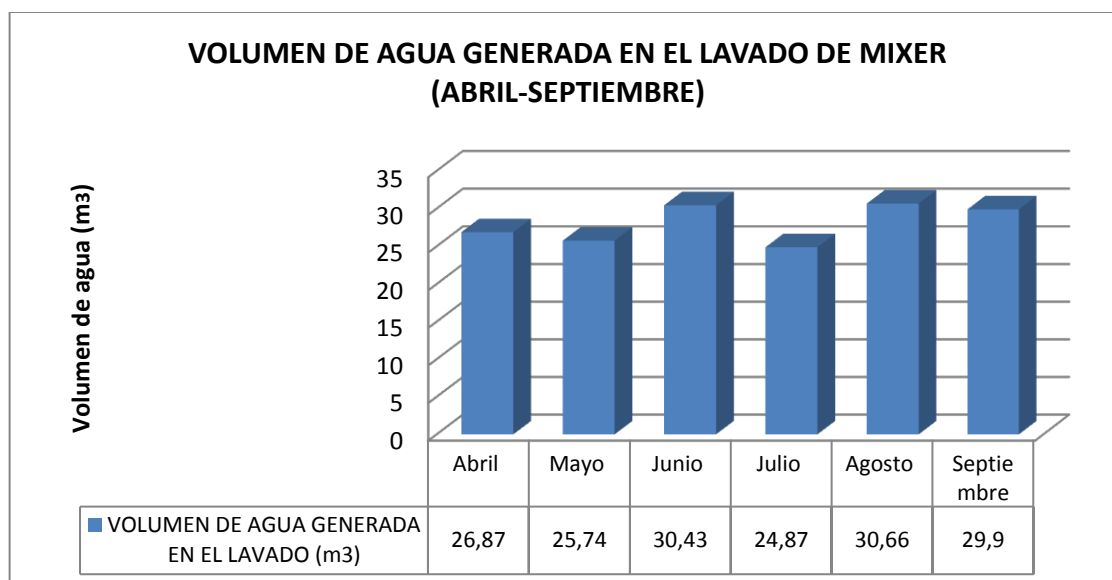
Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

Mediante esta información se determina la cantidad del agua empleada en la operación de lavado de camiones de carga de hormigón desde el mes de Abril hasta el mes de Septiembre del 2015.

**Tabla 13-2:** Volumen de agua generada en el lavado de mixer

Mes	Volumen de hormigón (m <sup>3</sup> )	Volumen de agua generada en el lavado (m <sup>3</sup> )
Abril	710	30,23
Mayo	680	28,96
Junio	804	34,24
Julio	657	27,98
Agosto	810	34,49
Septiembre	790	33,64
<b>TOTAL</b>	4451	189,54

Fuente: Hormigonera de los Andes



**Gráfico 2-2. Volumen de agua generada en el lavado de mixer**

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

### 2.5.3 Situación actual



**Figura 3-2. Situación actual**

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

La Hormigonera de los Andes genera un volumen considerable de agua residual proveniente de la operación de lavado de la planta de hormigón y de los camiones de carga del producto, siendo el segundo el más significativo, puesto que el lavado de los camiones de carga de hormigón se lo realiza de forma regular.

Actualmente las aguas residuales son descargadas directamente en un área específica dentro de la empresa sin un tratamiento previo.

Una de las características más relevantes de este tipo de aguas residuales es el alto contenido de sólidos debido a sus componentes como son los áridos y el cemento, al contener gran cantidad de cemento este residuo tiende a fraguar creando una capa que incrementa el grosor del suelo donde está colocado o a solidificarse generando una alta cantidad de escombros.

### 2.5.4 Caracterización de las aguas residuales

Para la caracterización inicial se procede a analizar los parámetros físico- químicos de tres muestras, a continuación se detallan los principales parámetros.

**Tabla 14-2:** Caracterización inicial de las aguas residuales industriales

PARÁMETRO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE INEN 2617: 2012
Potencial de Hidrogeno*	pH	12,47	12,73	12,74	12,65	>5
Conductividad	μS/cm	9900	10000	10300	10067	
Sólidos Totales	g/L	263,6	258,4	239,2	253,7	50
Sólidos Suspendidos	g/L	256,2	250,6	231,6	246,13	
Sólidos Disueltos Totales	g/L	7,4	7,8	7,6	7,6	
Sólidos Sedimentables	ml/L	383	385	384	384	
Sulfatos	mg/L	1400	1300	1380	1360	3000
Cloruros	mg/L	1520	1560	1590	1560	500
Alcalinidad	mg/L	2000	2200	2000	2067	
Álcalis	mg/L	251,55	251,55	251,55	251,55	600

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias

Las aguas generadas en la Hormigonera de los Andes, específicamente en la operación de lavado de mixer presentan dos parámetros elevados, los sólidos totales y cloruros.

Estos parámetros antes mencionados se determinaron mediante análisis físico-químicos y fueron comparados con la Norma NTE INEN 2617:2012. Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.

### 2.5.5 Análisis de resultados del agua residual

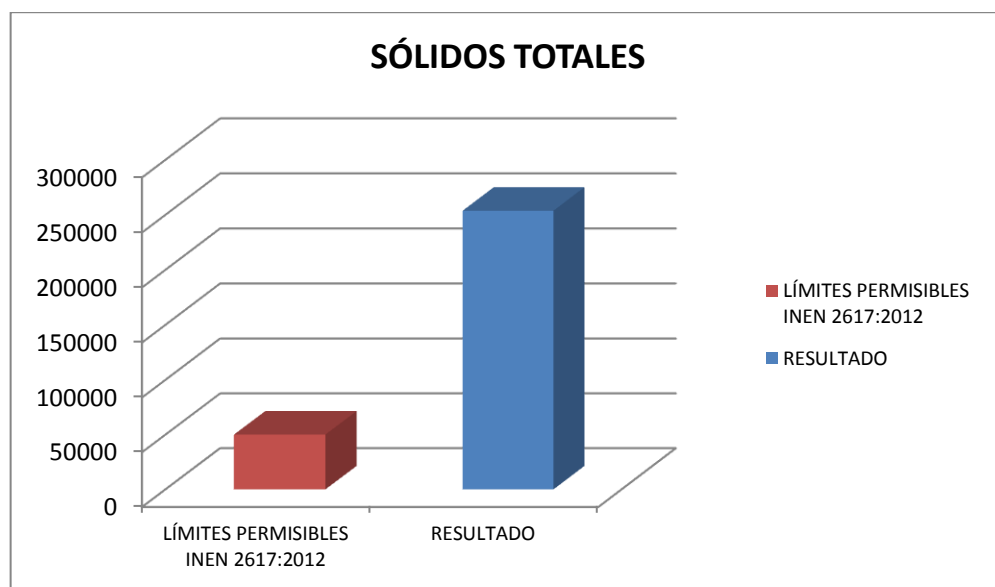
Los cloruros y los sólidos totales se encuentran fuera de la norma establecida, por lo cual el tratamiento está diseñado en base a estos parámetros.

**Tabla 15-2:** Parámetros físico- químicos fuera del límite máximo permisible

Parámetro	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible INEN 2617:2012	Condición
Sólidos totales	g/L	253,7	50	No cumple
Cloruros	mg/L	1560	500	No cumple

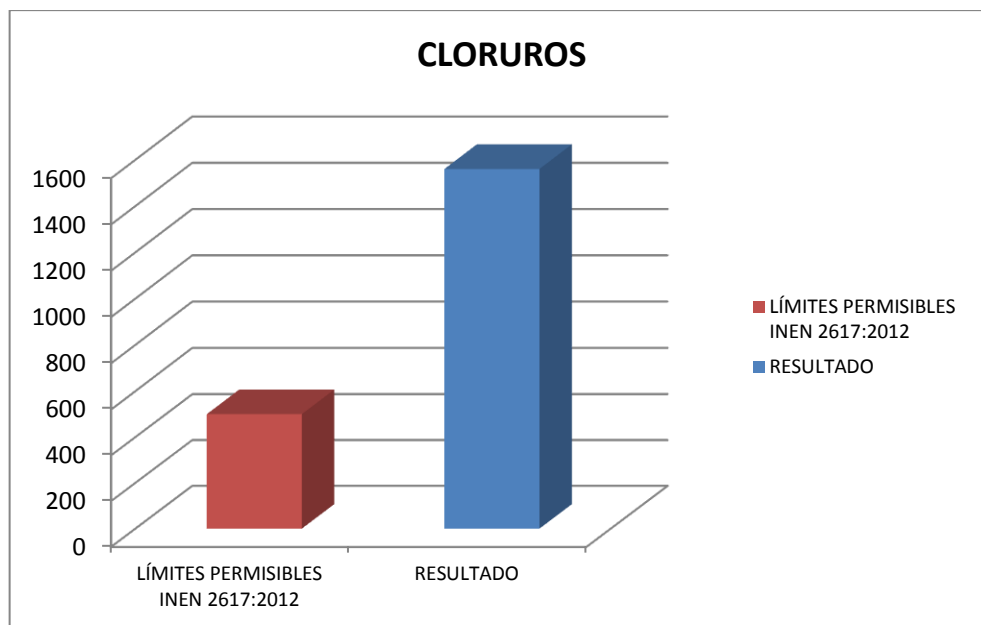
Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

A continuación se muestran los gráficos correspondientes a estos dos parámetros.



**Gráfico 3-2. Sólidos Totales**

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso



**Gráfico 4-2. Cloruros**

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

## 2.6 Pruebas de Tratabilidad

### 2.6.1 Pruebas de Filtración - Filtro de Zeolita

Con la finalidad de reducir la concentración de cloruros del agua residual, se procedió a realizar pruebas de filtración, empleando zeolita natural.

Inicialmente se activó la zeolita con una solución de NaCl al 5%, posteriormente se realizó otro filtro empleando una solución más concentrada de NaCl al 10%.

Finalmente, se realizaron dos filtros, empleando una solución activadora de NaOH 1N y NaOH 0.5 N, respectivamente.

En todos estos filtros se empleó las siguientes cantidades:

**Tabla 16-2:** Soluciones activadoras empleadas para la filtración

Nº FILTRO	MEDIO FILTRANTE	SOLUCIÓN ACTIVADORA	CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN
1	Zeolita	Na Cl	5%
2	Zeolita	Na Cl	10%
3	Zeolita	Na OH	1N
4	Zeolita	Na OH	0.5 N

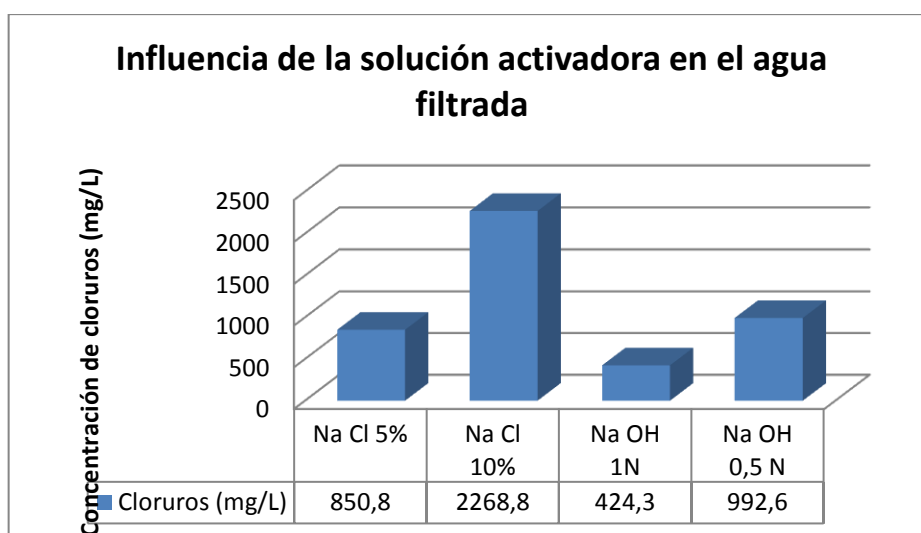
Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

Los filtros fueron elaborados con botellas de 50 ml en las cuales se filtró 100 ml de agua residual empleando como medio filtrante la zeolita pero diferentes soluciones activadoras, obteniéndose lo siguiente:

**Tabla 17-2:** Influencia de la solución activadora en el agua filtrada

Nº FILTRO	SOLUCIÓN ACTIVADORA	Cloruros (mg/L)
1	Na Cl 5%	850.8
2	Na Cl 10%	2268.8
3	Na OH 1 N	424.3
4	Na OH 0.5 N	992.6

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso



**Gráfico 5-2.** Influencia de la solución activadora en el agua filtrada

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

Según los análisis realizados se determina que el filtro más adecuado es el tercero, en el que la zeolita fue activada con NaOH 1N, por lo cual a continuación se detalla la siguiente información:

**Tabla 18-2:** Información experimental de la filtración

Cantidad de zeolita	25 gramos
Densidad de la zeolita	1000 kg/m <sup>3</sup>
Volumen de solución activadora	20 ml
Cantidad de NaOH empleado para preparar un litro de solución 1N	40 g

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

## 2.7 Reutilización del agua tratada en la elaboración del hormigón

Finalmente lo que se pretende hacer con el agua tratada es reutilizar en la elaboración de hormigón premezclado, para ello se procede a realizar mezclas del agua tratada con agua potable y con el fin de determinar el impacto del agua en la calidad del producto.

### 2.7.1 Determinación de la mezcla adecuada para la elaboración de hormigón

Para los ensayos de hormigón se empleó una muestra del agua tratada y 3 muestras de agua (agua tratada con agua potable) al 50, 60 y 80 %.

**Tabla 19-2:** Proporciones empleadas para el agua de mezcla

	Agua Tratada (%)	Agua de tanquero (Agua de río) (%)	Agua Tratada Volumen (ml)	Agua de tanquero (Agua de río) Volumen (mL)	Volumen total de la mezcla (mL)
<b>Muestra 1</b>	100	0	2000	0	2000
<b>Muestra 2</b>	80	20	1600	400	2000
<b>Muestra 3</b>	60	40	1200	800	2000
<b>Muestra 4</b>	50	50	1000	1000	2000

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

### 2.7.2 Ensayo de resistencia a la compresión a los siete días

Se elaboraron cinco cilindros de hormigón para una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> (mayor demanda), uno con agua potable y cuatro con las mezclas preparadas.

**Tabla 20-2:** Dosificación de cilindros de hormigón

Componentes	Valor	Unidad
<b>Cemento</b>	1	Kg
<b>Agua</b>	0,47	mL
<b>Ripio</b>	2,25	Kg
<b>Arena</b>	3,31	Kg
<b>Aditivo</b>	5	mL

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

Una vez obtenida la pasta, se procede a elaborar los cilindros:

**Materiales**

- Moldes de acero inoxidable o hierro.
- Varilla
- Mazo con cabeza de caucho.

**Procedimiento**

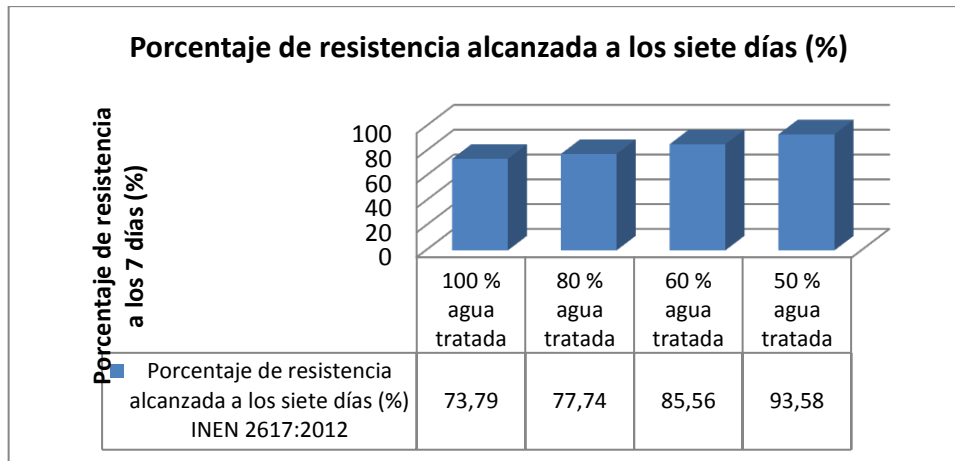
- Antes de colocar el hormigón fresco en los moldes cilíndricos se procede a limpiarlos con aceite mineral u otro material que sirva como lubricante.
- Se coloca el hormigón en el molde en capas y compactar cada capa uniformemente sobre la sección transversal con la punta redondeada de la varilla, con el número de golpes requerido.
- Compactar la capa del fondo, penetrando la varilla en toda su profundidad evitando dañar el fondo del molde.
- Para cada capa superior se debe permitir que la varilla penetre toda la capa que está siendo compactada e ingrese a la capa interior aproximadamente 25 mm.
- Luego de que cada capa ha sido compactada, golpear en el exterior del molde de 10 a 15 veces con el mazo. Después de golpear, igualar cada capa de hormigón a lo largo de los lados y bordes del molde de viga con una paleta u otra herramienta adecuada.
- Inmediatamente después del moldeo y terminado, el espécimen debe ser almacenado por un periodo de hasta 48 horas, posteriormente se colocan los especímenes en piscinas con agua para el curado del hormigón durante el tiempo requerido y para ser llevados al laboratorio.

**Tabla 21-2:** Resultados de resistencia a la compresión a los siete días

Cilindro		Resistencia a la compresión Kg/cm <sup>2</sup>	Porcentaje alcanzado en relación al cubo testigo (%)
Agua tratada	Agua de tanquero (agua de río)		
-	100%	190.3	Cubo testigo
100%	-	141.0	73.79 %
80%	20%	147.6	77.54 %
60%	40%	163.3	85.56 %
50%	50%	178.8	93.58 %

Fuente: LABCOS, Laboratorio del concreto y Suelos





**Gráfico 6-2. Porcentaje de resistencia alcanzado a los siete días**

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

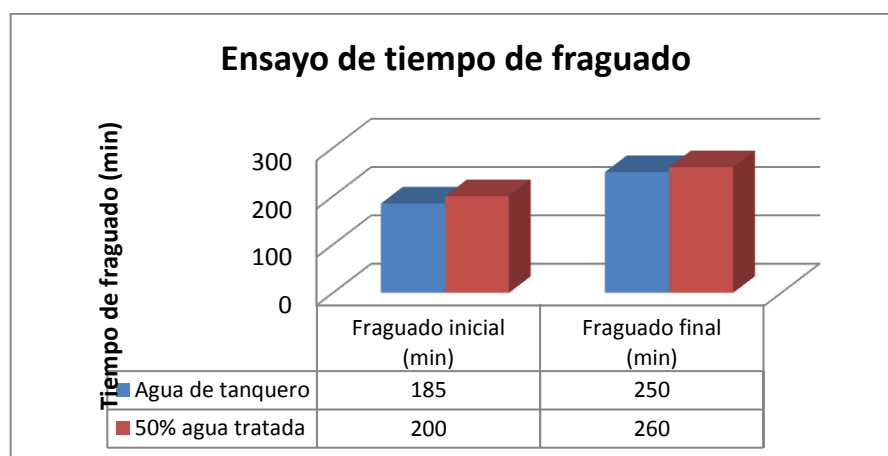
### 2.7.3 Ensayo de tiempo de fraguado

Una vez que se determinó que la mezcla del agua con el 50% del agua tratada y 50% del agua potable, se procedió a realizar el ensayo de tiempo de fraguado con el agua antes mencionada y con el agua normal, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 22-2: Resultados del ensayo de tiempo de fraguado**

Agua empleada	CEMENTO (Gramos)	AGUA (ml)	CONSISTENCIA NORMAL	FRAGUADO INICIAL (min)	FRAGUADO FINAL (min)
Tanquero (agua de río)	690	198	30,5	185	250
Tratada 50%	690	200	30,77	200	260

Fuente: Cemento Chimborazo



**Gráfico 7-2. Resultados del ensayo de tiempo de fraguado**

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

## CAPÍTULO III

### 3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

#### 3.1 Cálculos

##### 3.1.1 Determinación del caudal

- *Número de mixer empleados*

Para determinar el número de mixer empleados en el transporte de la producción máxima diaria de hormigón se emplea la siguiente relación:

$$\frac{1 \text{ mx}}{x} = \frac{C_{mx}}{P_{md}}$$

Datos:

$mx$ = mixer

$C_{mx}$ = Capacidad del mixer (8 m<sup>3</sup>) Tabla 12-2

$P_{md}$ = Producción máxima diaria (96 m<sup>3</sup>) Tabla 12-2

$$\frac{1 \text{ mx}}{x} = \frac{8 \text{ m}^3}{96 \text{ m}^3}$$

$$N^0 \text{ mx} = 12$$

Para transportar 96 m<sup>3</sup> de hormigón se requiere de 12 mixer de carga.

- *Volumen de agua empleada en el lavado*

Para determinar el volumen de agua empleado en el lavado de los mixer se emplea la siguiente expresión:

$$\frac{1 \text{ mx}}{N^0_{mx}} = \frac{V_{mx}}{x}$$

Datos:

$mx$ = mixer

$V_{mx}$  = Volumen de agua de lavado empleado en un mixer (90 galones) Tabla 12-2

$N^{\circ}mx$  = Cantidad de camiones de carga de hormigón (12 mixer)

$V_{tmx}$  = Volumen total de agua de lavado de los mixer

$$\begin{array}{r} 1 \text{ mx} \quad 90 \text{ gal} \\ 12 \text{ mx} \quad x \end{array}$$

$$V_{tmx} = V = 1080 \text{ gal}$$

- **Cálculo del caudal**

El caudal diario de agua residual generada en el lavado de los camiones de carga de hormigón se determina mediante la **Ecuación 31-1**.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Datos:

$Q$  = caudal de diseño ( $m^3/d$ )

$V_{tmx} = V$  = Volumen total de agua de lavado de los mixer

$t$  = tiempo (1 día)

$$Q = \frac{1080 \text{ galones}}{\text{día}} \times \frac{3.785 \text{ l}}{1 \text{ galón}} \times \frac{1 m^3}{1000 \text{ l}} = 4,09 \text{ m}^3/\text{día}$$

### 3.1.2 Diseño del sedimentador

- **Área del sedimentador**

Para determinar el área del sedimentador se emplea la **Ecuación 1-1**.

$$A_s = \frac{Q}{C_s}$$

Datos:

$A_s$  = área del sedimentador ( $m^2$ )

$Q$  = caudal ( $4,09 \text{ m}^3/\text{día}$ )

$C_s$  = carga superficial ( $2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$ ) Tabla 14-1

$$A_S = \frac{4,09 \text{ m}^3/\text{día}}{2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}}$$

$$A_S = 2,05 \text{ m}^2$$

- **Ancho del sedimentador**

Para determinar el ancho del sedimentador se emplea una relación longitud/ ancho de 3/1 Tabla 15-1 y se emplea la siguiente ecuación:

$$\frac{L_S}{B_S} = \frac{3}{1}$$

$$L_S = 3B_S$$

Entonces:

$$A_S = 3B_S \times B_S$$

$$A_S = 3B_S^2$$

$$B_S = \sqrt{\frac{A_S}{3}}$$

Datos:

$B_S$  = ancho del sedimentador (m)

$A_S$  = área del sedimentador (2,05 m<sup>2</sup>)

Relación longitud/ancho= 3/1 Tabla 15-1

$$B_S = \sqrt{\frac{2,05 \text{ m}^2}{3}}$$

$$B_S = 0,83 \text{ m}$$

- **Longitud del sedimentador**

Para determinar la longitud del área de sedimentación, se emplea la **Ecuación 2-1**.

$$L_S = \frac{A_S}{B_S}$$

Datos:

$L_S$  = longitud del sedimentador (m)

$A_S$  = área del sedimentador (2,05 m<sup>2</sup>)

$B_S =$  ancho del sedimentador (0,83m)

$$L_S = \frac{2,05 \text{ m}^2}{0,83 \text{ m}}$$

$$L_S = 2,46 \text{ m}$$

- **Relación largo-ancho**

Para verificar que la relación largo-ancho se cumple se emplea la siguiente relación (tabla 15-1)

$$\frac{L_S}{B_S} = 3 - 6$$

Datos:

$L_S =$  largo del sedimentador (2,46)

$B_S =$  ancho del sedimentador (0,83m)

Relación largo/ancho = 3-6 (Tabla 15-1)

$$\frac{2,46}{0,83} = 2,96 \approx 3$$

La relación largo/ancho se cumple.

- **Profundidad del sedimentador**

Partiendo de la relación largo/profundidad de la tabla 15-1 se tiene:

$$\frac{L_S}{H_S} = 5$$

$$\frac{2,46}{H_S} = 5$$

$$H_S = \frac{2,46}{5}$$

$$H_S = 0,50 \text{ m}$$

- **Relación largo-profundidad**

Para verificar que la relación largo-ancho se cumple se emplea la siguiente relación (tabla 15-1)

$$\frac{L_S}{H_S} = 5 - 20$$

Datos:

$L_S$  = largo del sedimentador (2,46)

$B_S$  = ancho del sedimentador (0,50 m)

Relación largo/profundidad = 5-20 (Tabla 15-1)

$$\frac{2,46}{0,50} = 4,92 \approx 5$$

La relación largo-profundidad se cumple.

- ***Volumen del sedimentador***

El volumen del sedimentador se calcula mediante la **Ecuación 3-1**.

$$V_S = L_S \times A_S$$

Datos:

$V_S$  = volumen del sedimentador ( $m^3$ )

$L_S$  = longitud del sedimentador (2,46 m)

$A_S$  = área del sedimentador (2,05  $m^2$ )

$$V_S = 2,46 \text{ m} \times 2,05 \text{ m}^2$$

$$V_S = 5,04 \text{ m}^3$$

- ***Velocidad horizontal***

Para determinar la velocidad horizontal se emplea la **Ecuación 4-1**.

$$v_H = \frac{Q}{B_S * H_S}$$

Datos:

$v_H$  = velocidad horizontal

$Q$  = caudal de diseño ( $4,73 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ )

$B_S$  = ancho (0,83 m)

$H_S$  = altura o profundidad (0,50 m)

$$v_H = \frac{4,73 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{0,83\text{m} \times 0,50 \text{ m}}$$

$$v_H = 1,14 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$v_H = 0,011 \text{ cm/s}$$

- **Tiempo de retención**

Para la determinación del tiempo de retención se emplea la **Ecuación 5-1**.

$$T_0 = \frac{A_s * H_S}{Q}$$

Datos:

$T_0$  = tiempo de retención (h)

$A_s$  = área superficial de la zona de sedimentación (2,05 m<sup>2</sup>)

$H_S$  = altura o profundidad (0,50 m)

$Q$  = caudal de diseño (4,09 m<sup>3</sup>/día)

$$T_0 = \frac{2,05\text{m}^2 * 0,50 \text{ m}}{4,09 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$T_0 = 0,25 \text{ día} = 6 \text{ horas}$$

- **Altura máxima**

Para determinar la altura máxima del sedimentador se emplea la **Ecuación 6-1**.

$$H_S^{\wedge} = H_S + x H_S$$

Datos:

$H_S^{\wedge}$  = altura máxima del sedimentador (m)

$H_S$  = altura o profundidad (0,50 m)

$x$  = pendiente del fondo del sedimentador (10%) Tabla 15-1

$$H_S^{\wedge} = 0,50 \text{ m} + 0,1(0,50 \text{ m})$$

$$H^{\wedge} = 0,55 \text{ m}$$

- **Remoción de sólidos suspendidos totales**

Para calcular el porcentaje de remoción de sólidos totales suspendidos se emplea la **Ecuación 8-1**.

$$R_{ST} = \frac{T_{rh}}{a + bT_{rh}}$$

Datos:

$R_{ST}$  = porcentaje de remoción de sólidos totales suspendidos (%)

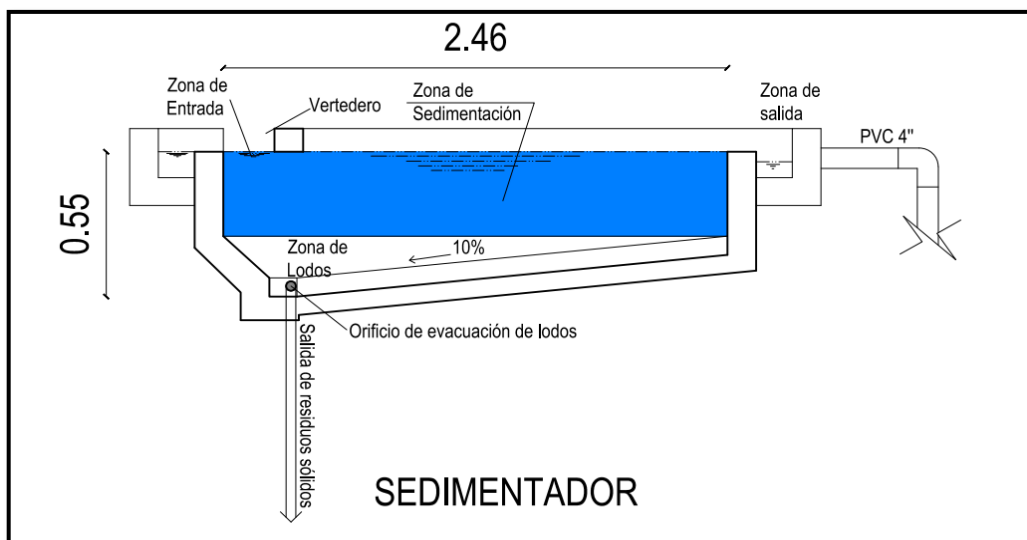
$T_{rh}$  = tiempo de retención hidráulica (6 h)

$a = 0,0075$  (Tabla 16-1)

$b = 0,014$  (Tabla 16-1)

$$R_{ST} = \frac{6}{0,0075 + 0,014 (6)}$$

$$R_{ST} = 66\%$$



**Figura 1-3. Vista en corte del tanque sedimentador**

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

### 3.1.3 Diseño del tanque de filtración

- **Área del filtro**

Para la determinación del área del filtro se emplea la **Ecuación 9-1**.

$$A_F = \frac{Q}{T_{FL}}$$

Datos:

$A_F$  = Área de filtración ( $m^2$ )



$Q$ = Caudal de Diseño ( $4,09 \text{ m}^3/\text{día}$ )

$T_{FL}$ = Tasa de Filtración ( $2,4 \text{ m}/\text{día}$ ) Tabla 19-1

$$A_F = \frac{4,09 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{2,4 \text{ m}/\text{día}}$$

$$A_F = 1,70 \text{ m}^2$$

- **Numero de módulos**

Para determinar el número de módulos se emplea la **Ecuación 10-1**.

$$N_F = 0,5 \times \sqrt{Q}$$

Datos:

$N_F$ = Número de filtros

$Q$ = Caudal ( $4,09 \text{ m}^3/\text{día}$ )

$$N_F = 0,5 \times \sqrt{4,09 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$N_F = 1,01 \approx 1 \text{ filtro}$$

- **Coefficiente de mínimo costo**

Para determinar el coeficiente de mínimo costo se emplea la **Ecuación 12-1**.

$$K = \frac{(2 \times N_F)}{(N_F + 1)}$$

Datos:

$K$  = coeficiente de mínimo costo (adimensional)

$N_F$ = Número de filtros (1)

$$K = \frac{(2 \times 1)}{(1 + 1)}$$

$$K = 1$$

- **Longitud del filtro**

Para determinar la longitud del filtro se emplea la **Ecuación 13-1**.

$$L_F = (A_F \times K)^{1/2}$$

Datos:

$L_F$  = Longitud del filtro (m)

$A_F$  = Área de filtración, (1,70 m<sup>2</sup>)

$K$  = coeficiente de mínimo costo (1)

$$L_F = (1,70 \text{ m}^2 \times 1)^{1/2}$$

$$L_F = 1,30 \text{ m}$$

- **Ancho del filtro**

Para determinar el ancho del filtro se emplea la **Ecuación 14-1**.

$$B_F = \left(\frac{A_F}{K}\right)^{1/2}$$

Datos:

$B_F$  = ancho del filtro (m)

$A_F$  = Área de filtración, (1,70 m<sup>2</sup>)

$K$  = coeficiente de mínimo costo (1)

$$B_F = \left(\frac{1,70}{1}\right)^{1/2}$$

$$B_F = 1,30 \text{ m}$$

- **Altura del Filtro**

Para determinar la altura del filtro se emplea la **Ecuación 15-1**.

$$Z_F = H_{CA} + H_{LF} + H_{CS} + H_D$$

Datos:

$Z_F$  = Altura del filtro, (m)

$H_{CA}$  = Altura del agua sobre el lecho (1 m) Tabla 19-1

$H_{LF}$  = Altura del Lecho Filtrante, (0,30 m)

$H_{CS}$  = Altura de la capa de soporte (0,15 m) Tabla 19-1

$H_D$  = Altura de drenaje, (0,25 m) Tabla 19-1

$$Z_F = 1m + 0,30 m + 0,25 m + 0,15 m$$

$$Z_F = 1,70 m$$

- **Volumen del filtro**

Para determinar el volumen del filtro se emplea la **Ecuación 16-1**.

$$V_F = Z_F \times B_F \times L_F$$

Datos:

$V_F$  = volumen del filtro ( $m^3$ )

$Z_F$  = altura del filtro (1,70 m)

$B_F$  = ancho de la unidad de Filtración (1,30 m)

$L_{FU}$  = Longitud del filtro (1,30 m)

$$V_F = 1,70 m \times 1,30 m \times 1,30 m$$

$$V_F = 2,87 m^3$$

### Sistema de Drenaje

- **Área de los orificios de los laterales**

Para determinar el área de los orificios de los laterales se emplea la Ecuación 17-1.

$$A_{CO} = \frac{\pi \times D_O^2}{4}$$

Datos:

$A_{CO}$  = Área de cada orificio, ( $m^2$ )

$D_O$  = Diámetro de los orificios, ( $2 \times 10^{-3}m$ ) Tabla 20-1

$$A_{CO} = \frac{\pi \times (2 \times 10^{-3}m)^2}{4}$$

$$A_{CO} = 3,14 \times 10^{-6} m^2$$

$$A_{CO} = 0,031 cm^2$$

- **Caudal que ingresa a cada orificio**

Para determinar el caudal que ingresa a cada orificio se emplea la Ecuación 18-1.

$$Q_I = A_{CO} \times V_{OF}$$

Datos:

$Q_I = Q$  = Caudal de Ingreso, ( $m^3/s$ )

$A_{CO}$  = Área de cada orificio, ( $3,14 \times 10^{-6} m^2$ )

$V_{OF}$  = Velocidad en el orificio, (3 m/s) Tabla 20-1

$$Q_I = 3,14 \times 10^{-6} m^2 \times 3 m/s$$

$$Q_I = 9,42 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

- **Numero de laterales**

Para determinar el número de laterales se emplea la Ecuación 19-1.

$$N_L = 2 \times \frac{L_F}{S_{EL}}$$

Datos:

$N_L$  = Numero de laterales, adimensional

$L_F$  = Longitud total del filtro, (1,43 m)

$S_{EL}$  = Separación entre laterales, (1 m) Tabla 20-1

$$N_L = 2 \times \frac{1,30 m}{1 m}$$

$$N_L = 2,6 \approx 3 \text{ unidades}$$

- **Separación entre orificios**

Para determinar la separación entre orificios se emplea la Ecuación 20-1.

$$S_o = \frac{\# \text{ orificios}}{\text{laterales}} = 2 \times \frac{L_{CL}}{e_o}$$

Datos:

$S_o$  = Separación entre orificios, adimensional

$L_{CL}$  = Longitud de cada lateral, (1 m)

$e_o$  = Espacio entre orificios, (0,1m) Tabla 20-1

$$S_o = 2 \times \frac{1m}{0,1m}$$

$$S_o = 20$$

- ***Número total de orificios***

Para determinar el número total de orificios se emplea la Ecuación 21-1.

$$N_o = \# \text{ total de orificios} = N_L \times S_o$$

Datos:

$N_o$  = Número total de orificios, adimensional

$N_L$  = Número de laterales, adimensional (3)

$S_o$  = Separación entre orificios, adimensional (20)

$$N_o = 3 \times 20$$

$$N_o = 60$$

- ***Área total de orificios***

Para determinar el área total de orificios se emplea la Ecuación 22-1.

$$A_{TO} = A_{CO} \times N_o$$

Datos:

$A_{TO}$  = Área total de orificios, ( $m^2$ )

$A_{CO}$  = Área de cada orificio, ( $3,14 \times 10^{-6} m^2$ )

$N_o$  = Número total de orificios, adimensional (60)

$$A_{TO} = 3,14 \times 10^{-6} m^2 \times 60$$

$$A_{TO} = 1,88 \times 10^{-4} m^2$$

### **Lavado del Filtro**

- ***Velocidad de lavado***

Para determinar la velocidad de lavado se emplea la Ecuación 24-1.

$$v_{LF} = C_U \times T_E$$

Datos:

$C_U$ = Coeficiente de uniformidad 0,5 (Tabla 19-1)

$T_E$ = Tamaño efectivo 1,9 (Tabla 19-1)

$$v_{LF} = 0,5 \times 1,9$$

$$v_{LF} = 0,95 \text{ m/min}$$

- ***Volumen de agua para el lavado del filtro***

Para determinar el volumen de agua empleada en el lavado del filtro se emplea la Ecuación 25-1.

$$V_{LV} = v_{LF} \times A_F \times \theta$$

Datos:

$v_{LF}$ = Velocidad de lavado (0,95 m/min)

$A_F$ = Área del filtro (1,02 m<sup>2</sup>)

$\theta$  = tiempo de lavado (5 min) Tabla 19-1

$$V_{LV} = 0,95 \text{ m/min} \times 1,02 \text{ m}^2 \times 5 \text{ min}$$

$$V_{LV} = 4,84 \text{ m}^3$$

- ***Cantidad de zeolita***

Para calcular la cantidad de zeolita se procede a determinar el volumen de la misma en el tanque de filtración de la siguiente manera:

$$V_{zeol} = L_F \times B_F \times Z_{zeol}$$

Datos:

$L_F$  = longitud del filtro (1,30 m)

$B_F$  = ancho del filtro 1,30 m

$Z_{zeol}$  = Altura del lecho filtrante 0,30 m (Tabla 19-1)

$\rho_{zeol}$  = densidad de la zeolita 1000 Kg/m<sup>3</sup> (Tabla 18-2)

$M_{zeol}$  = cantidad de zeolita

$$V_{zeol} = 1,30 \text{ m} \times 1,30 \text{ m} \times 0,30 \text{ m}$$

$$V_{zeol} = 0,50 \text{ m}^3$$

Una vez que se ha calculado el volumen se procede a determinar la cantidad de zeolita empleando la densidad de la zeolita:

$$M_{zeol} = 0,50 \text{ m}^3 \times \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3} = 500 \text{ Kg zeolita}$$

La cantidad de zeolita a emplearse es de 500 Kg de zeolita. .

- **Volumen de solución activadora**

Se calcula la cantidad de NaOH necesaria para activar 500 kg de zeolita

Datos:

$M_{zeol \text{ ex}}$  = Cantidad de zeolita empleada experimentalmente 25g= 0,025 Kg (Tabla 18-2)

$M_{zeol}$  = Cantidad de zeolita total (500 Kg)

$V_{sr}$  = volumen de la solución activadora 20 mL = 0,02 L (Tabla 20-2)

$V_{srt}$  = Volumen de la solución activadora total (m<sup>3</sup>)

$$\begin{array}{l} 0,025 \text{ kg zeolita} \rightarrow 0,02 \text{ L NaOH} \\ 500 \text{ kg zeolita} \rightarrow V_{srt} \end{array}$$

$$V_{srt} = \frac{500 \text{ kg zeolita} \times 0,02 \text{ L NaOH}}{0,025 \text{ kg zeolita}}$$

$$V_{srt} = 400 \text{ L NaOH} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 0,40 \text{ m}^3$$

- **Cantidad de Na OH empleado para la activación o regeneración**

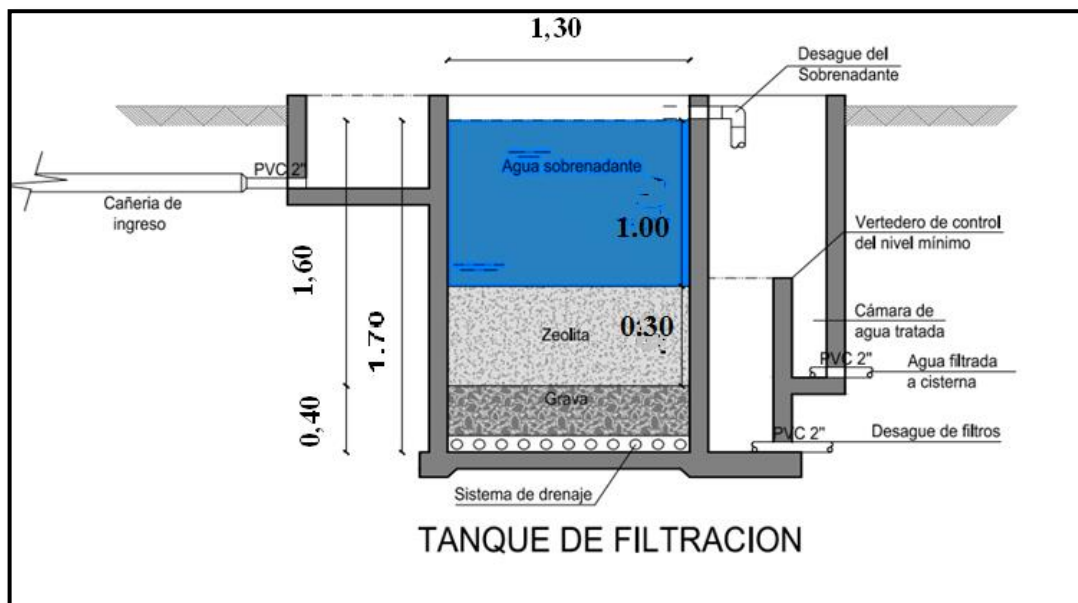
Datos:

$M_{NaOH}$  = Cantidad de hidróxido de sodio empleado experimentalmente = 40 g = 0,04 Kg  
(Tabla 20-2)

$$\begin{array}{lcl} 0,04 \text{ kg NaOH} & \rightarrow & 0,001 \text{ m}^3 \text{ sol} \\ M_{NaOH} & \rightarrow & 0,40 \text{ m}^3 \text{ Na OH} \end{array}$$

$$M_{NaOH} = \frac{0,04 \text{ kg NaOH} \times 0,40 \text{ m}^3 \text{ NaOH}}{0,001 \text{ m}^3 \text{ Na OH}}$$

$$M_{NaOH} = 16 \text{ Kg}$$



**Figura 2-3. Vista en corte del tanque de filtración**

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

### 3.1.4 Dimensionamiento del lecho de secado

- **Carga de sólidos**

Para determinar la carga de sólidos se emplea la Ecuación 26-1.

$$C = Q \times SS$$

Datos:

C= carga de sólidos que ingresan al sedimentador (Kg/d)



$Q$  = caudal (4,09 m<sup>3</sup>/d)

SS = Sólidos suspendidos (246130 mg/L)

$$C = \frac{4,09 \text{ m}^3}{d} \times \frac{246130 \text{ mg}}{L} \times \frac{1000 L}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} = 1006,67 \text{ Kg/d}$$

- **Masa de sólidos que conforman los lodos**

Para determinar la masa de sólidos que conforman los lodos se emplea la Ecuación 27-1.

$$M_{sl} = (0,5 \times 0,7 \times 0,5 \times C) + (0,5 \times 0,3 \times C)$$

Datos:

$M_{sl}$  = masa de sólidos que conforman los lodos (Kg/d)

$C$  = carga de sólidos que ingresan al sedimentador (1006,67 Kg/d)

$$M_{sl} = (0,5 \times 0,7 \times 0,5 \times 1006,67) + (0,5 \times 0,3 \times 1006,67)$$

$$M_{sl} = 327,17 \text{ Kg/d}$$

- **Volumen diario de lodos**

Para determinar el volumen diario de lodos se emplea la Ecuación 28-1.

$$V_{dl} = \frac{M_{sl}}{\rho_l \times \left( \frac{\% \text{ sólidos}}{100\%} \right)}$$

Datos:

$V_{dl}$  = volumen diario de lodos (m<sup>3</sup>)

$M_{sl}$  = masa de sólidos que conforman los lodos (327,17 Kg/d)

$\rho_L$  = densidad del lodo (1050 Kg/m<sup>3</sup>)

% sólido = porcentaje de sólidos (12 %)

$$V_{dl} = \frac{327,17 \text{ Kg/d}}{1050 \text{ Kg/m}^3 \times \left( \frac{12\%}{100\%} \right)}$$

$$V_{dl} = 2,59 \text{ m}^3/d$$

- **Área del lecho de secado**

Para determinar el área del lecho de secado se emplea la Ecuación 29-1.

$$A_{LS} = \frac{V_{dl}}{H_L}$$

Datos:

$A_{LS}$  = área del lecho de secado ( $m^2$ )

$V_{dl}$  = volumen diario de lodos ( $2,59 m^3$ )

$H_L$  = Altura del lecho de secado (0,6 m) Tabla 23-1

$$A_{LS} = \frac{2,59 m^3}{0,6 m}$$

$$A_{LS} = 4,33 m^2$$

- **Longitud del lecho de secado**

Para determinar la longitud del lecho de secado se emplea la Ecuación 30-1.

$$L_{LS} = \frac{A_{LS}}{B_{LS}}$$

Datos:

$L_{LS}$  = longitud del lecho de secado (m)

$A_{LS}$  = área del lecho de secado ( $4,33 m^2$ )

$B_{LS}$  = ancho del lecho de secado (1,5 m) Tabla 23-1

$$L_{LS} = \frac{4,33}{1,5 m}$$

$$L_{LS} = 2,89 \approx 3 m$$

- **Volumen del lecho de secado**

El volumen del sedimentador se calcula mediante la ecuación:

$$V_{IL} = L_{LS} \times H_{LS} \times B_{LS}$$

Datos:

$V_{LS}$  = volumen del lecho de secado ( $m^3$ )

$H_{LS}$  = Altura del lecho de secado (0,6 m) Tabla 23-1

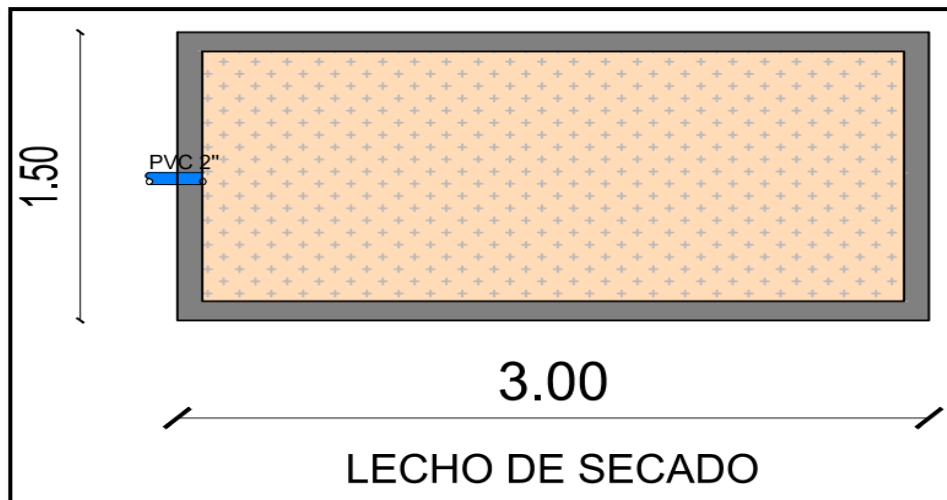
$B_{LS}$  = ancho del lecho de secado (1,5 m) Tabla 23-1

$L_{LS}$  = longitud del lecho de secado (3 m)

$A_{LS}$  = área del lecho de secado ( $4,33 m^2$ )

$$V_S = 3 m \times 0,6 m \times 1,5$$

$$V_S = 2,7 m^3$$



**Figura 3-3. Vista en corte del lecho de secado**

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

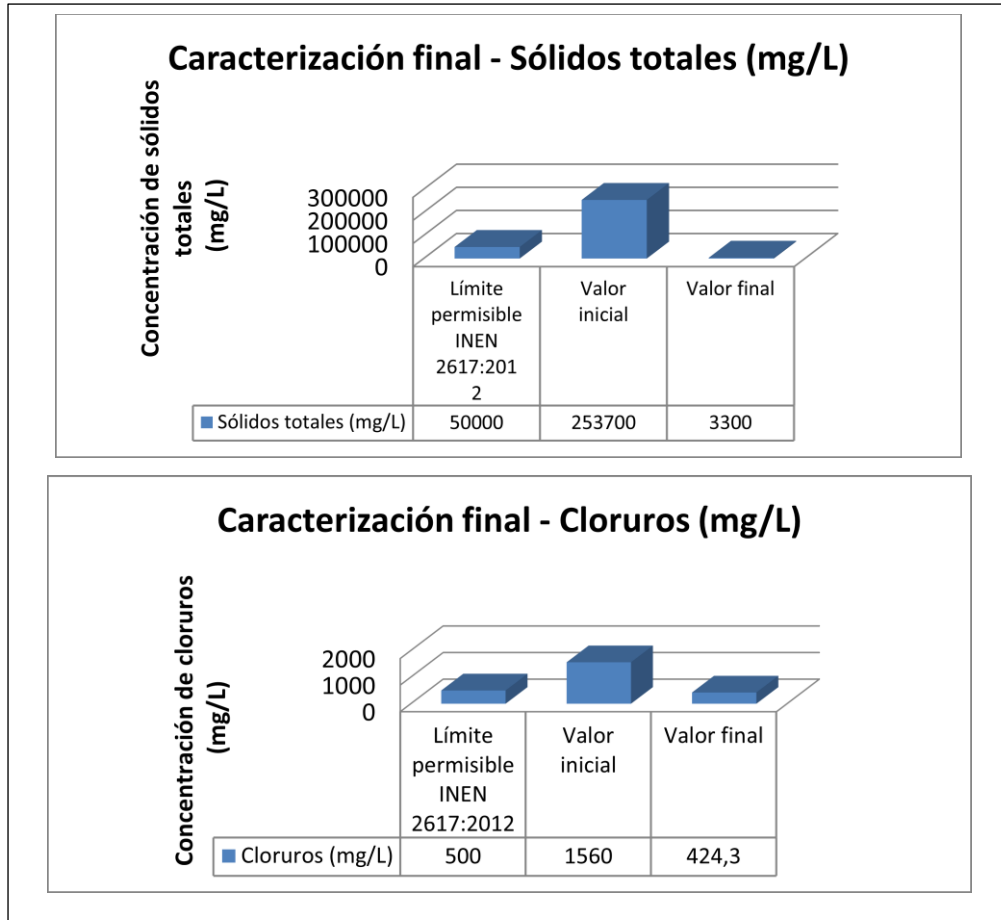
## 3.2 Resultados

### 3.2.1 Resultados de la caracterización final físico-química del agua tratada

**Tabla 1-3:** Resultados comparados con la Norma NTE INEN 2617:2012

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE INEN 2617:2012	VALOR INICIAL	CONDICIÓN	VALOR FINAL	CONDICIÓN
Sólidos totales	mg/L	50000	253700	NO CUMPLE	3300	CUMPLE
Cloruros	mg/L	500	1560	NO CUMPLE	424,3	CUMPLE

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso



**Gráfico 1- 3. Caracterización final del agua tratada**

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

Mediante la comparación de los resultados obtenidos en la caracterización inicial y final del agua residual y del agua tratada, respectivamente; se identifica la eliminación de sólidos totales y cloruros presente en el agua, lo que garantiza el empleo del agua en la elaboración de hormigón pre mezclado, basándose en la Norma INTE INEN 2617:2012.

### 3.2.2 Rendimiento del sistema de tratamiento de aguas para la Hormigonera de los Andes

**Tabla 2-3:** Rendimiento del sistema de tratamiento de aguas

PARÁMETROS	Cloruros (mg/L)	Sólidos totales (mg/L)
Agua residual	1560	253700
Agua Tratada	424,3	3300
Rendimiento (%)	<b>72,80</b>	<b>98,70</b>
Rendimiento del sistema de tratamiento (%)	<b>87,75</b>	

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

### 3.2.3 Resultados del diseño ingenieril

#### 3.2.3.1 Resultados del dimensionamiento del sedimentador

**Tabla 3-3:** Dimensiones del tanque de sedimentación

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Área del sedimentador	$A_S$	2,05	m <sup>2</sup>
Ancho del sedimentador	$B_S$	0,83	m
Profundidad del sedimentador	$H_S$	0,50	m
Longitud de la unidad	$L_S$	2,46	m
Altura máxima del sedimentador	$H'_S$	0,55	m
Volumen del sedimentador	$V_S$	5,04	m <sup>3</sup>
Velocidad horizontal	$v_H$	$1,14 \times 10^{-4}$	m/s
Tiempo de retención hidráulica	$T_0$	6	h
Porcentaje de remoción	$R_{ST}$	67	%

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

#### 3.2.3.2 Resultados del dimensionamiento del filtro de zeolita

**Tabla 4-3:** Dimensionamiento del filtro de zeolita

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Área de filtración	$A_F$	1,70	m <sup>2</sup>
Coefficiente mínimo de costo	$K$	1	-
Longitud del filtro	$L_F$	1,30	m
Ancho del filtro	$B_F$	1,30	m
Altura del filtro	$Z_F$	2	m
Volumen del filtro	$V_F$	2,87	m <sup>3</sup>
Área de los orificios	$A_{CO}$	$3,14 \times 10^{-6}$	m <sup>2</sup>
Caudal para cada orificio	$Q_I$	$9,42 \times 10^{-6}$	m <sup>3</sup> /s
Área total de los orificios	$A_{TO}$	$1,88 \times 10^{-4}$	m <sup>2</sup>
Separación entre los orificios	$S_O$	20	-
Número total de orificios	$N_O$	60	-
Numero de laterales	$N_L$	3	-
Velocidad lavado del filtro	$V_{LF}$	0,95	m/min
Tiempo de lavado	$\theta$	5	min
Cantidad de zeolita	$M_{zeol}$	500	Kg
Cantidad de Na OH	$M_{NaOH}$	16	Kg

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

### 3.2.3.3 Resultados de dimensionamiento del lecho de secado

**Tabla 5-3:** Dimensionamiento del lecho de secado

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Carga de sólidos	$C$	1006,67	Kg/d
Masa de solidos que conforman los lodos	$M_{SL}$	327,17	Kg/d
Área del lecho de secado	$A_{LS}$	4,33	m <sup>2</sup>
Longitud de lecho de secado	$L_{LS}$	3	m
Altura del lecho de secado	$H_{LS}$	0,6	m
Ancho del lecho de secado	$B_{LS}$	1,5	m
Volumen del lecho de secado	$V_{LS}$	2,7	m <sup>3</sup>

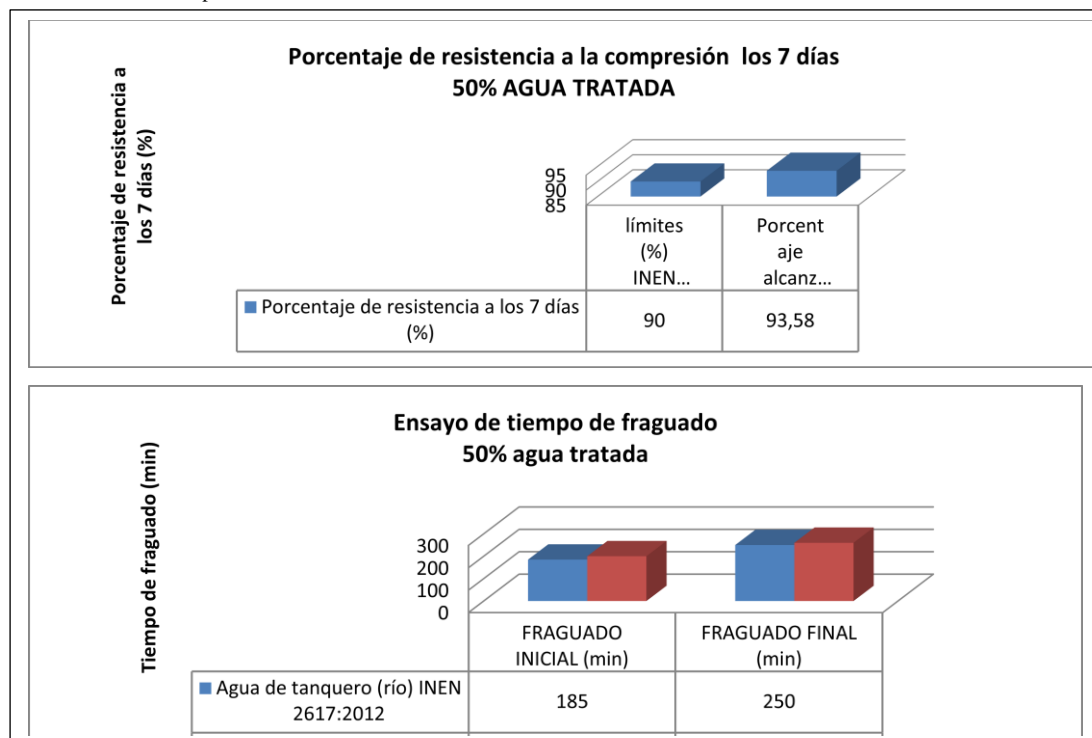
Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

### 3.3.4 Resultados del desempeño del hormigón por el agua de mezcla

**Tabla 6-3:** Resultado del desempeño del hormigón por el agua de mezcla

	Límites (%) INEN 2617:2012	Porcentaje alcanzado (%)
Resistencia a la compresión, (control a 7 días)	90	93,58
Tiempo de fraguado	Desde 1:00 antes Hasta 1:30 después	Tiempo de fraguado inicial: 200min
		Tiempo de fraguado final: 260 min

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso



**Gráfico 2- 3. Resultado del desempeño del hormigón por el agua de mezcla**

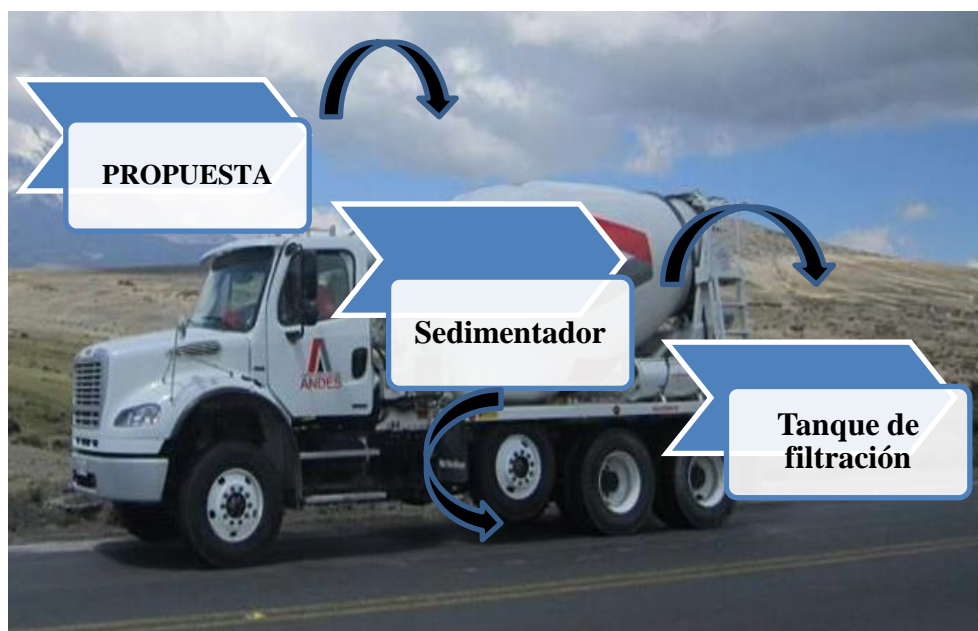
Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

### 3.3 Propuesta

Para tratar este tipo de efluentes generados en la Hormigonera de los Andes se propone el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales con la finalidad de reducir la carga contaminante y cumplir con los límites establecidos en la Norma INTE INEN 2617: 2012., para reutilizar el agua en la elaboración de hormigón premezclado. (VER ANEXO A).

Para ello se propone el siguiente sistema de tratamiento de aguas residuales:

- Un tanque sedimentador rectangular con una capacidad de  $4 \text{ m}^3$ , profundidad de 0,55 m y longitud de 2,46 m. Además el tiempo de retención del agua en este tanque es de 6 horas y se pretende remover el 67% de SST.
- Un tanque de filtración con una capacidad de  $3,38 \text{ m}^3$ , con una profundidad de 2 m y con una longitud de 1,30 m, empleando zeolita como medio filtrante.
- El agua tratada se almacenará en un tanque para su posterior reutilización en la producción de hormigón premezclado.
- Un lecho de secado de arena para el lodo generado en el tanque de sedimentación, con una longitud de 3 m y una altura de 0,6 m



**Figura 4- 3. Propuesta del sistema de tratamiento**

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

### 3.3.1 Costos de la propuesta

**Tabla 7- 3.** Inversión del sistema de tratamiento de aguas

ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	VALOR
<b>SEDIMENTADOR</b>					
1	Excavación	m <sup>3</sup>	4,84	20	96,80
2	Hormigón de 210 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	0,40	82	32,80
3	Malla electro soldada fc' 8	U	1,00	69,6	69,60
4	Tubería PVC 4"	U	1,00	14,5	14,50
5	Mano de obra	U	2,00	40	80,00
					<b>293,70</b>
<b>TANQUE DE FILTRACIÓN</b>					
1	Excavación	m <sup>3</sup>	4,95	20	99,00
2	Hormigón de 210 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	0,80	82	65,60
3	Malla electro soldada fc' 8	U	1,00	69,6	69,60
4	Tubería PVC 4"	U	1,00	14,5	14,50
5	Mano de obra	U	2,00	40	80,00
6	Grava 1"	m <sup>3</sup>	0,40	6	2,40
7	Zeolita	m <sup>3</sup>	1,20	500	600,00
8	Tubería PVC 2"	U	2,00	6,1	12,20
					<b>943,30</b>
<b>LECHO DE SECADO</b>					
1	Excavación	m <sup>3</sup>	3,90	20	78,00
2	Hormigón de 210 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	0,45	82	36,90
3	Malla electro soldada fc' 8	U	1,00	69,6	69,60
5	Mano de obra	U	2,00	40	80,00
6	Grava 1"	m <sup>3</sup>	1,80	6	10,80
9	Arena	m <sup>3</sup>	0,90	7,2	6,48
					<b>281,78</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>1518,78</b>

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso



**Tabla 8-3:** Inversión de reactivos

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	VALOR TOTAL
NaOH 1N	Kg	16	25	400

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

**Tabla 9-3:** Inversión total del sistema de tratamiento de las aguas residuales

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO UNITARIO	VALOR TOTAL
Sedimentador	U	1	293,70	293,70
Tanque de filtración	U	1	811,54	943,30
Lecho de secado	U	1	264,50	281,78
Reactivos	Kg	16	25	400
			<b>TOTAL</b>	<b>1918,78</b>

Fuente: Karen Guadalupe Alvarado Valdivieso

### 3.4 Análisis y discusión de resultados

Después de haber realizado la parte experimental para el diseño del sistema de tratamiento de aguas en la Hormigonera de los Andes y recirculación del agua tratada en el proceso, se proceden a analizar los resultados obtenidos:

Los valores obtenidos en la caracterización físico-química inicial son el promedio de tres muestras de agua residual, con el fin de obtener valores más reales y exactos (**Tabla 14-2**). De esta manera se identificaron dos parámetros fuera de los límites permisibles basados en la Norma NTE INEN 2617:2012. Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos: sólidos totales 253,7 g/L (**Gráfico 3-2**) y cloruros 1560 mg/L (**Gráfico 4-2**).

Estas concentraciones son el resultado del contacto del agua con los residuos de hormigón fresco que se encuentran adheridos en las paredes del tambor de los camiones de carga de hormigón mixer. En estas condiciones el agua no es apta para la elaboración de hormigón.

Mediante las pruebas de filtración (**Tabla 17-2**) se determinó que el filtro más adecuado para reducir la concentración de cloruros en el agua es el filtro de zeolita activado con NaOH 1N, mediante el cual se obtuvo una concentración final 424,3 mg/L. (**Gráfico 5-2**).

Este filtro fue el más adecuado, debido a la solución con la que fue activado y a la concentración de la solución activadora.

Los valores que se obtienen mediante la caracterización físico-química final son: Cloruros 424,3 mg/L y sólidos totales 3300 mg/L (**Tabla 1-3** y **Gráfico 1-3**), parámetros que se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos en la Norma NTE INEN 2617:2012. Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.

Con los resultados obtenidos, se plantea la ejecución del Sistema de tratamiento de aguas para la Hormigonera de los Andes que consta de un sedimentador rectangular, un tanque de filtración de zeolita y un lecho de secado.

Según los resultados obtenidos en la **Tabla 21-2** la muestra de agua más adecuada para la elaboración del hormigón es el agua compuesta por el 50% de agua tratada y el 50% de agua de tanquero (agua de río), mediante el cual se obtuvo una resistencia de 178,8 kg/cm<sup>2</sup> correspondiente al 93.58% de la resistencia del cilindro testigo, estos resultados se observan en el **Gráfico 6-2**.

El cilindro elaborado con la mezcla del agua (50% agua tratada + 50% agua de tanquero) proporciona un mejor resultado con respecto al cilindro elaborado con el 100% de agua tratada, debido a que las principales sustancias perjudiciales para el hormigón disminuyen considerablemente al añadir agua con un menor grado de impurezas.

Con esta misma mezcla se realizó el ensayo de tiempo de fraguado (**Tabla 22-2**) con el cual se obtuvo una desviación mínima en relación a la mezcla de control (100% agua de tanquero) (**Gráfico 7-2**).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Mediante la caracterización físico – química de las aguas industriales de la Hormigonera de los Andes, se determina que dos parámetros no cumplen con la límites permisibles: cloruros 1560 mg/L y sólidos totales 253,7 g/L, analizados en base la Norma NTE INEN 2617:2012. Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.
- Se determina que las variables de proceso para el diseño del sistema de tratamiento de aguas industriales son los dos puntos críticos identificados: el caudal de diseño 4,09 m<sup>3</sup>/día y la producción máxima de hormigón diaria de 96 m<sup>3</sup>, en base a estos parámetros se diseña el sistema de tratamiento.
- El diseño de la planta de tratamiento de aguas se establece conforme a los análisis realizados, con el dimensionamiento de los siguientes componentes y sus respectivos volúmenes: sedimentador rectangular 5,04 m<sup>3</sup>, tanque de filtración 2,87 m<sup>3</sup> y lecho de secado 2,70 m<sup>3</sup>.
- El diseño propuesto está validado por la caracterización final del agua tratada efectuado en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH, laboratorio acreditado, con los siguientes resultados: cloruros 224,3 mg/L y sólidos totales 3300 mg/L.
- El agua tratada empleada directamente afecta la calidad del hormigón, específicamente la resistencia mecánica, obteniendo un porcentaje de resistencia del 73,79% con respecto al cubo testigo preparado con el 100% del agua de tanquero.
- Los costos que demanda la aplicación del diseño del sistema de tratamiento de aguas industriales es de \$1518,78 (mil quinientos dieciocho dólares con setenta y ocho centavos) para las estructuras diseñadas y \$400 (cuatrocientos dólares) para los reactivos, de esta manera el costo total del sistema es de \$1918,78 (mil novecientos dieciocho dólares con setenta y ocho centavos), considerando que la propuesta del diseño de tratamiento de aguas es económicamente factible.

## Recomendaciones

- Debido a que el agua se utiliza dentro de la empresa como materia prima para la elaboración del hormigón y como recurso necesario para la limpieza de los camiones mixer de carga de hormigón, se recomienda utilizar en los tanques una cantidad determinada de zeolita granulada a fin de que mejore la estabilidad de los lodos en el agua residual.
- Se recomienda emplear la zeolita activada en dos etapas: en la retención de sólidos y en la purificación del agua residual.
- Es necesario que se realice la limpieza del sistema de tratamiento de manera regular para evitar obstrucciones en las tuberías u otros conductos del sistema.
- Para la elaboración del hormigón se recomienda emplear sólo el 50% de agua tratada de la presente investigación y el otro 50% debe ser completada con el agua que regularmente se emplea en la fabricación de hormigón con el fin de no alterar la calidad final del producto como indica la **Tabla 21-2**.
- Se recomienda capacitar al personal de la empresa para el manejo adecuado del reactivo (NaOH) a emplear en la activación de la zeolita.

## **BIBLIOGRAFÍA**

*Aforo volumétrico* [En línea]. s.l., 2000. [Consulta: 28 de Mayo 2015]. Disponible en: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/05/aforo-volumetrico.html>

*Básculas de cinta* [En línea].s.l.[Consulta: 13 de Junio 2015]. Disponible en: [http://www.automation.siemens.com/scstatic/catalogs/catalog/wt/WT10/es/WT10\\_es\\_kap04.pdf](http://www.automation.siemens.com/scstatic/catalogs/catalog/wt/WT10/es/WT10_es_kap04.pdf)

**BASURTO, C, & VILLALBA, J.** *Síntesis y Caracterización de Geopolímeros basados en zeolita natural* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.2013.p.20. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/25391>

*Características del agua residual* [En línea]. s.l. : 2014.[Consulta: 16 de Mayo 2015].

Disponible en:

[http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/CURSO/UNI\\_02/u2c2s5.htm](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/CURSO/UNI_02/u2c2s5.htm)

**CASTRILLÓN, Y.** *Síntesis de zeolita tipo faujasita a partir de la activación alcalina de illita para su aplicación en la eliminación de  $Cr^{3+}$  y  $Ni^{2+}$  de efluentes de la industria del galvanizado* (tesis de grado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 2011. p.37

*Clasificación de aguas residuales industriales. Revista Ambientum* [en línea], 2002, (Latinoamérica), pp.2-3. [Consulta: 14 Agosto 2015]. ISSN 1579-0770. Disponible en: [http://www.ambientum.com/revista/2002\\_22/CLSFCCNG2.asp](http://www.ambientum.com/revista/2002_22/CLSFCCNG2.asp)

*Concreto reforzado* [en línea]. s.l., 2013. [Consulta: 14 de Abril 2015]. Disponible en: <http://concreto-reforzado.wikispaces.com/>

*Construcción, agua y medioambiente* [en línea].[Consulta: 12 Septiembre 2015]. Disponible en: [ftp://ceres.udc.es/Grado\\_IOP/Tercer\\_Curso/Calidad%20de%20Aguas/Apuntes13-14/Casos-TrabajoCurso/caso-hormigoneras-datos.pdf](ftp://ceres.udc.es/Grado_IOP/Tercer_Curso/Calidad%20de%20Aguas/Apuntes13-14/Casos-TrabajoCurso/caso-hormigoneras-datos.pdf)

*Diseño y fabricación de hormigones* [en línea].s.l., 2014. [Consulta: 25 de Abril 2015]. Disponible en: <http://publiespe.espe.edu.ec/academicas/hormigon/hormigon02-a.htm>

*El riego de los suelos con aguas residuales.* [En línea]. España, 2013. [Consulta: 16 de Mayo 2015]. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/02/13/84392>

*Ensayo de compresión de cilindros* [en línea]. Argentina: Yahya Gharagozlou, 2013. [Consulta: 14 de Abril 2015]. Disponible en: <http://www.instron.com.ar/testing-solutions/by-material/concrete/compression/concrete-cylinders>

*Fundamentos del hormigón simple* [en línea]. s.l., 2015. [Consulta: 25 de Abril 2015]. Disponible en: <http://publiespe.espe.edu.ec/academicas/hormigon/hormigon01.htm>

*Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores* [En línea]. Perú: Lima, 2005. [Consulta: 16 de Mayo 2015]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatp/e/tecnoapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>

*Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores.* [en línea], 2005, (Perú) pp.16-21. [Consulta: 28 de Agosto del 2015]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatp/e/tecnoapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>

*Guía para el diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas* [en línea], 2005, (Perú) pp.18-2. [Consulta: 12 de Septiembre .del 2015]. Disponible en: [http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/029\\_Dise%C3%B1o%20de%20tratamiento%20de%20filtraci%C3%B3n%20en%20m%C3%BAltiples%20etapas\\_ME/Dise%C3%B1o%20de%20tratamiento%20de%20filtraci%C3%B3n%20en%20m%C3%BAltiples%20etapas\\_ME.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/029_Dise%C3%B1o%20de%20tratamiento%20de%20filtraci%C3%B3n%20en%20m%C3%BAltiples%20etapas_ME/Dise%C3%B1o%20de%20tratamiento%20de%20filtraci%C3%B3n%20en%20m%C3%BAltiples%20etapas_ME.pdf)

*La escala de pH y fuerza de ácidos y bases* [En línea]. s.l., 2011. [Consulta: 16 de Mayo 2015]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos14/escalaph/escalaph.shtml>

**MÁRQUEZ CÁCERES, Rodrigo.** *Resumen de la memoria para optar al Título de Ingeniero civil industrial.* [En línea] (Tesis)Universidad Santiago de Chile, Santiago de Chile, Chile. 2007. p.4. [Consulta: 22 de Abril 2015]. Disponible en: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAFN84AJ/marquez-r>

*Mezclado del concreto.* [En línea]. s.f. [Consulta: 15 de Julio 2015]. Disponible en: <http://civilgeeks.com/2011/12/07/mezclado-del-concreto/>

**NEMERROW N.** *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos* [PDF]. Madrid-España: Ediciones Díaz de santos, S.A., 1988. [Consulta: 18 de Diciembre del 2015]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=KDmjTWMEuaoC&pg=PA562&lpg=PA562&dq=vertido+de+aguas+residuales+de+cementeras&source=bl&ots=txzXEwt-zo&sig=zWpeFiJVHhqt51fUGYD-Jnly5k&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwifoeju9->

[jLAhVMGx4KHaBYBqAQ6AEILzAE#v=onepage&q=vertido%20de%20aguas%20residuales%20de%20cementeras&f=false](http://jLAhVMGx4KHaBYBqAQ6AEILzAE#v=onepage&q=vertido%20de%20aguas%20residuales%20de%20cementeras&f=false)

**NTE INEN 2617:2012.** *Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.*

*Olores* [En línea]. s.l., 2008. [Consulta: 16 de Mayo 2015]. Disponible en: [http://olores.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1&lang=es](http://olores.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1&lang=es)

*Parámetros físico químicos- Alcalinidad* [En línea]. s.l., 2011. [Consulta: 16 de Mayo 2015]. Disponible en: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-alkalinidad.pdf>

**PÉREZ, J.** *Tratamiento de aguas.* Universidad Nacional, Quito, Ecuador. Pp. 1-31. [Consulta: 12 de Septiembre del 2015]. Disponible en: [http://www.bdigital.unal.edu.co/70/6/45 - 5\\_Capi\\_4.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/70/6/45 - 5_Capi_4.pdf)

**RIVERA, G.** *Concreto simple* [en línea]. s.f. [Consulta: 12 de Octubre 2015]. Disponible en: <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/gearnilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2011%20-%20Aditivos%20para%20morteros%20o%20concretos.pdf>

*Tolvas dosificadoras.* [En línea]. España, 2013. [Consulta: 29 de Abril 2015]. Disponible en: [http://www.tusa.es/tolvas\\_dosificadoras.html](http://www.tusa.es/tolvas_dosificadoras.html)

**VALENCIA, A.** *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis-Provincia Chimborazo* (Tesis de pre grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2013. pp. 37-50. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3118/1/236T0084.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO A. NTE INEN 2617:2012 TABLA 1 Y TABLA 2

Se permite el uso de agua de mezcla que esté compuesta total o parcialmente por fuentes de agua no potable o de operaciones de producción de hormigón, en cualquier proporción hasta que cumpla con los límites de calificación de los requisitos de la tabla 1. A opción del usuario y cuando sea apropiado para la construcción, se puede especificar cualquiera de los límites opcionales que se encuentran en la tabla 2, al momento de realizar el pedido del hormigón de acuerdo con la sección de información para pedidos de la NTE INEN 1 855-1.

**TABLA 1 Requisitos de desempeño del hormigón por el agua de mezcla**

	Límites	Normas aplicables
Resistencia a la compresión en porcentaje. % mínimo de control a 7 días <sup>A, B</sup>	90	NTE INEN 1 573, NTE INEN 1 576.
Tiempo de fraguado, control de desviación, h:min <sup>A</sup>	Desde 1:00 antes hasta 1:30 después	ASTM C 403
<p><sup>A</sup> Las comparaciones se basan en proporciones fijas para el diseño de mezcla de hormigón representativo del suministro de agua cuestionable y de la mezcla de control utilizando el 100% de agua potable o agua destilada. (Ver Anexo A).</p> <p><sup>B</sup> Los resultados de resistencia a la compresión se basan en al menos dos ensayos normalizados de especímenes elaborados de una mezcla compuesta.</p>		

**TABLA 2 Límites químicos opcionales del agua combinada para la mezcla <sup>A</sup>**

Máxima concentración en el agua de mezcla combinada, ppm <sup>B</sup>	Límites	Normas aplicables
A. Cloruro como Cl <sup>-</sup> , ppm 1. Para hormigón pretensado, losas de puentes u otras designaciones 2. Otros hormigones reforzados en ambientes húmedos o conteniendo aluminio embebido u otros metales o con encofrados de metal galvanizado que permanecerán en el sitio.	500 <sup>C</sup>	NTE INEN 160
B. Sulfato como SO <sub>4</sub> , ppm	1 000 <sup>C</sup>	NTE INEN 160
C. Álcalis como (Na <sub>2</sub> O + 0,658 K <sub>2</sub> O), ppm	3 000	NTE INEN 160
D. Total de sólidos en masa, ppm	600	NTE INEN 160
	50 000	ASTM C 1 603
<p><sup>A</sup> Los límites definidos en esta tabla pueden ser especificados como elementos individuales o en conjunto con la sección Información para pedidos de la NTE INEN 1855-1.</p> <p><sup>B</sup> ppm = partes por millón.</p> <p><sup>C</sup> Estos límites para el agua de mezcla se pueden exceder cuando el fabricante demuestre que la suma de todas las fuentes de cloruros en su hormigón no excede los requisitos del ACI 318. Para condiciones que permitan el uso de cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) como aditivo acelerante, se puede ignorar el límite para el cloruro.</p>		



## ANEXO B. TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 9

Toda descarga al sistema de alcantarillado público, deberá cumplir con los valores establecidos a continuación (ver tabla 9).

TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO			
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivas o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	<b>No detectable</b>
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	1,0
Ci nce	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr6	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Mangane so total	Mn	mg/l	10,0
Me rcuri o (total)	Hg	mg/l	0,01
Niquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kje dahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20,0
Sólidos Suspendedos Total e s	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO4 2	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	oC		40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

## ANEXO C. RECOLECCIÓN DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL

Recolección del agua residual procedente del lavado de los camiones de carga de hormigón para posteriormente realizar su respectiva caracterización.





## ANEXO D. CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA RESIDUAL

Una vez ya recolectadas las muestras se realizó su respectiva caracterización inicial.



## ANEXO E. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN INICIAL

Resultados de la caracterización inicial físico-química del agua residual industrial.

# ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Karen Alvarado

Fecha de Análisis: 13 de mayo de 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 27 de mayo de 2015

Tipo de muestras: Agua Residual industrial Planta Hormigón. Agua Cruda

Localidad: Hormigonera de Los Andes. Cantón Guano

### TRABAJO DE TESIS

#### Análisis Químico

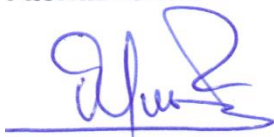
Determinaciones	Unidades	*Método	**Limites	Resultados
pH	Und.	4500-B		12.65
Conductividad	mSiems/cm	2510-B		10.06
Turbiedad	UNT	2130-B		200
Alcalinidad	mg/L	2320-C		2067
Cloruros	mg/L	4500-CI-B	500	1560
Sulfatos	mg/L	4500-SO4-E	3000	1360
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-C		384
Sólidos Suspendidos	g/L	2540-B		246.13
Sólidos Disueltos	g/L	2540-D		7.6
Sólidos Totales	g/L	2540-A	50	253.7

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*NTE Hormigón cemento Hidráulico. Agua para mezcla

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :  
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN  
(LABCESTTA)**

**Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)  
RIOBAMBA - ECUADOR  
Telefax: (03) 3013183**

**INFORME DE ENSAYO No:** 1170  
**ST:** 15-438 ANÁLISIS DE AGUAS  
**Nombre Peticionario:** Hormigonera de los Andes  
**Atn.** Karen Alvarado  
**Dirección:** San Isidro, Barrio 15 de Mayo  
San Isidro - Chimborazo

**FECHA:** 03 de Agosto del 2015  
**NUMERO DE MUESTRAS:** 1  
**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:** 2015/07/24 - 15:35  
**FECHA DE MUESTREO:** 2015/07/23 - 16:30  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 2015/07/24 - 2015/08/03  
**TIPO DE MUESTRA:** Agua residual  
**CÓDIGO LABCESTTA:** LAB-A 862 -15  
**CÓDIGO DE LA EMPRESA:** NA  
**PUNTO DE MUESTREO:** Descarga de mixer  
**ANÁLISIS SOLICITADO:** Físico- Químico  
**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:** Karen Alvarado  
**CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:** T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Potasio	STANDARD METHODS 3030/3111B Ed. 22-2012	mg/L	68,54	-
Sodio	STANDARD METHODS 3030/3111B Ed. 22-2012	mg/L	206,45	-

**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en el laboratorio.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
**Dr. Mauricio Álvarez**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**  
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL  
E INSPECCIÓN  
LAB - CESTTA  
ESPOCH



## ANEXO F. PRUEBAS DE FILTRACIÓN

Luego de un proceso de sedimentación se procedió a filtrar agua residual en diferentes filtros para lo cual se emplearon botellas de 500 ml. Finalmente con el filtro que dio mejores resultados se filtró un mayor volumen de agua residual.



## ANEXO G. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FINAL

Resultados de la caracterización final físico-química del agua tratada.



### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 096 – 15

#### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Srta. Karen Alvarado **INFORME Nº:** 096 – 15  
**EMPRESA:** Trabajo de Titulación ESPOCH **Nº SE:** 096 – 15  
**DIRECCIÓN:** San Isidro – Barrio 15 de Mayo  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 06 – 11 – 15  
**TELÉFONO:** 2904501 **FECHA DE INFORME:** 09– 11 – 15

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 Agua residual de construcción tratada **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA – 227 -15 Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 227-15

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	[H <sup>+</sup> ]	PE-LSA-01	12,31	+/- 0,08	06 – 11 – 15
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	9600	+/- 8 %	06 – 11 – 15
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	3370	+/- 6 %	06 – 11 – 15
* Sólidos Suspendedos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	8	N/A	06 – 11 – 15
* Sólidos Disueltos Totales	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - C	6610	N/A	06 – 11 – 15
* Sólidos Sedimentables	ml/l	STANDARD METHODS 2540 - F	0,2	N/A	06 – 11 – 15
* Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 SO <sub>4</sub> -E	112	N/A	06 – 11 – 15
* Cloruros	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cl E mod	424,3	N/A	06 – 11 – 15
* Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /l	STANDARD METHODS 2320 - B	1820	N/A	06 – 11 – 15

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

#### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.

Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.





**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :  
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN  
(LABCESTTA)**

**Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)  
RIOBAMBA - ECUADOR  
Telefax: (03) 3013183**

**INFORME DE ENSAYO No:** 1805  
**ST:** 710 -15 ANÁLISIS DE AGUAS  
**Nombre Peticionario:** Hormigonera de los Andes  
**Atn.** Karen Alvarado  
**Dirección:** San Isidro, Barrio 15 de Mayo  
San Isidro - Chimborazo

**FECHA:** 11 de Diciembre del 2015  
**NUMERO DE MUESTRAS:** 1  
**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:** 2015/12/02 - 13:00  
**FECHA DE MUESTREO:** 2015/12/02 - 12:54  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 2015/12/02 - 2015/12/11  
**TIPO DE MUESTRA:** Agua de construcción tratada  
**CÓDIGO LABCESTTA:** LAB-A 1428 -15  
**CÓDIGO DE LA EMPRESA:** NA  
**PUNTO DE MUESTREO:** Filtro Laboratorio ESPOCH  
**ANÁLISIS SOLICITADO:** Físico- Químico  
**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:** Karen Alvarado  
**CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:** T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Potasio	STANDARD METHODS 3030/3111B Ed. 22-2012	mg/L	99,46	-
Sodio	STANDARD METHODS 3030/3111B Ed. 22-2012	mg/L	523,40	-

**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en el laboratorio.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

*Dr. Mauricio Alvarez*  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

**LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTAL  
E INSPECCION  
LAB - CESTTA  
ESPOCH**



## ANEXO H. ENSAYO 1: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



# ANEXO I. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN (7 DÍAS)



**LABORATORIO DEL  
CONCRETO Y SUELOS**

Nº 0000262

Riobamba, 28 de Octubre del 2015

## INFORME DE ENSAYOS DE COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO

**SOLICITANTE:** SRTA. KAREN ALVARADO  
**PROYECTO:** TRABAJO DE TITULACION  
**FECHA DE ENSAYO:** 28 de Octubre del 2015  
**INSTITUCION:** ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

NORMAS ASTM C39, ASTM 1234, INEN 1573

No	Descripción	Dimensiones (mm)		Sección Transversal (mm <sup>2</sup> )	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de compresión (MPa)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Concreto Solicitado (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha toma de muestra (días)	Edad Elemento (días)	Observaciones
		Diámetro (mm)	L (mm)								
1	AGUA NORMAL-N	100	200	7853.98	146600	<b>18.7</b>	<b>190.3</b>	210	20/10/15	X	H. EN. # 057
2	100% AGUA TRATADA	100	200	7853.98	108600	<b>13.8</b>	<b>141.0</b>	210	20/10/15	X	
3	80% AGUA TRATADA	100	200	7853.98	113700	<b>14.5</b>	<b>147.6</b>	210	20/10/15	X	
4	60% AGUA TRATADA	100	200	7853.98	125800	<b>16.0</b>	<b>163.3</b>	210	20/10/15	X	
5	50% AGUA TRATADA	100	200	7853.98	137700	<b>17.5</b>	<b>178.8</b>	210	20/10/15	X	
6	50% ARIDO RECICLADO	100	200	7853.98	66500	<b>8.5</b>	<b>86.3</b>	210	20/10/15	X	

NOTA: MUESTRA TOMADA Y PROBETAS ELABORADAS POR EL SOLICITANTE  
 1Mpa = 10,197 kg/cm<sup>2</sup>

**ING. ROBERTO C. AVALOS R.**  
RESPONSABLE TÉCNICO



**LABORATORIO DEL  
CONCRETO Y SUELOS**

Riobamba, 14 de Enero del 2016

**INFORME DE ENSAYOS DE COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO**

**SOLICITANTE:** SRTA. KAREN ALVARADO  
**PROYECTO:** TRABAJO DE TITULACION  
**FECHA DE ENSAYO:** 14 de Enero del 2016  
**INSTITUCION:** ESPOCH

NORMAS ASTM C39, ASTM 1234, INEN 1573

No	Descripción	Dimensiones (mm)		Sección Transversal (mm <sup>2</sup> )	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de compresión (MPa)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Concreto Solidado (kg/cm <sup>3</sup> )	Fecha toma de muestra (días)	Edad Elemento (días)	Observaciones
		Diámetro (mm)	L (mm)								
1	5% ARIDO RECICLADO	100	200	7853,98	154900	19,7	201,1	210	20/10/15	X	H EN # 117
2	50% AGUA TRATADA	100	200	7853,98	156800	20,0	203,6	210	20/10/15	X	
3	N-AGUA NORMAL	100	200	7853,98	165200	21,0	214,5	210	20/10/15	X	

NOTA: MUESTRA TOMADA Y PROBETAS ELABORADAS POR EL SOLICITANTE  
1Mpa = 10,197 kg/cm<sup>2</sup>



**ING. ROBERTO AVALOS R.**  
TECNICO RESPONSABLE

LABORATORIO DEL  
CONCRETO Y SUELOS



**LABCOS**  
LABORATORIO DEL  
CONCRETO Y SUELOS



## ANEXO K. ENSAYO 2: TIEMPO DE FRAGUADO



## ANEXO L. RESULTADOS DEL ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

- Agua normalmente empleada en la elaboración de hormigón


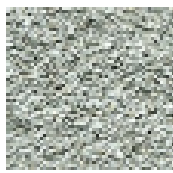
<b>CEMENTO (Gramos)</b>	<b>AGUA (ml)</b>	<b>CONSISTENCIA NORMAL</b>	<b>FRAGUADO INICIAL (min)</b>	<b>FRAGUADO FINAL (min)</b>
690	198	30,5	185	250

- Agua tratada empleada en la elaboración de hormigón (50%)

<b>CEMENTO (Gramos)</b>	<b>AGUA (ml)</b>	<b>CONSISTENCIA NORMAL</b>	<b>FRAGUADO INICIAL (min)</b>	<b>FRAGUADO FINAL (min)</b>
690	200	30,77	200	260

Fuente: *Cemento Chimborazo*

## ANEXO M. FICHA TÉCNICA DE LA ZEOLITA

	<p>Ficha Técnica</p> <p><b>Zeolita Natural AQUA®</b></p>	
---	--	---

IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO	
Nombre del Producto	Zeolita Natural AQUA
Descripción del producto	Zeolita natural tipo clinoptilolita, secado a 350 °C, triturado y clasificado.
Granulometrías disponibles	0,5-1mm, 1-3mm, 2-5mm, 4-8mm, 8-16mm y 16-32mm.
Nombre químico	Aluminosilicato potásico cálcico sódico hidratado.
Numero CAS	12173-10-3

CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS	
Componente principal	Clinoptilolita, 82-86% (Análisis DRX)
Otros componentes	Feldespato, Illita, Cristobalita, y rastros de Cuarzo.
Color	Gris verdoso
Densidad de la roca	2200 – 2440 kg/m <sup>3</sup>
Dureza MOHS	3 – 3,5

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	
Composición química	SiO <sub>2</sub> : 68,15 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 12,30 % K <sub>2</sub> O : 2,80 % CaO : 1,95 % Na <sub>2</sub> O : 0,75 % H <sub>2</sub> O : 0,90% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 1,30 % TiO <sub>2</sub> : 0,20 %
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Ca <sup>2+</sup> : 1,20 a 1,94 meq/g      NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> : 1,2 a 1,5 meq/g
Porosidad	24 – 32 %
Superficie Específica (Método BET)	30 – 50 m <sup>2</sup> /g
Estabilidad Térmica	< 450 °C
Estabilidad Química (pH)	3 < pH < 11
Densidad Aparente	0,58 – 0,84 g/cm <sup>3</sup> (según granulometría)

Presentación del Producto	
Tipos de Envase	Sacos PP de 20kg y Sacos de papel de 25 kg. Paletizados de 1000 kg, Bigbaga de 1000kg.

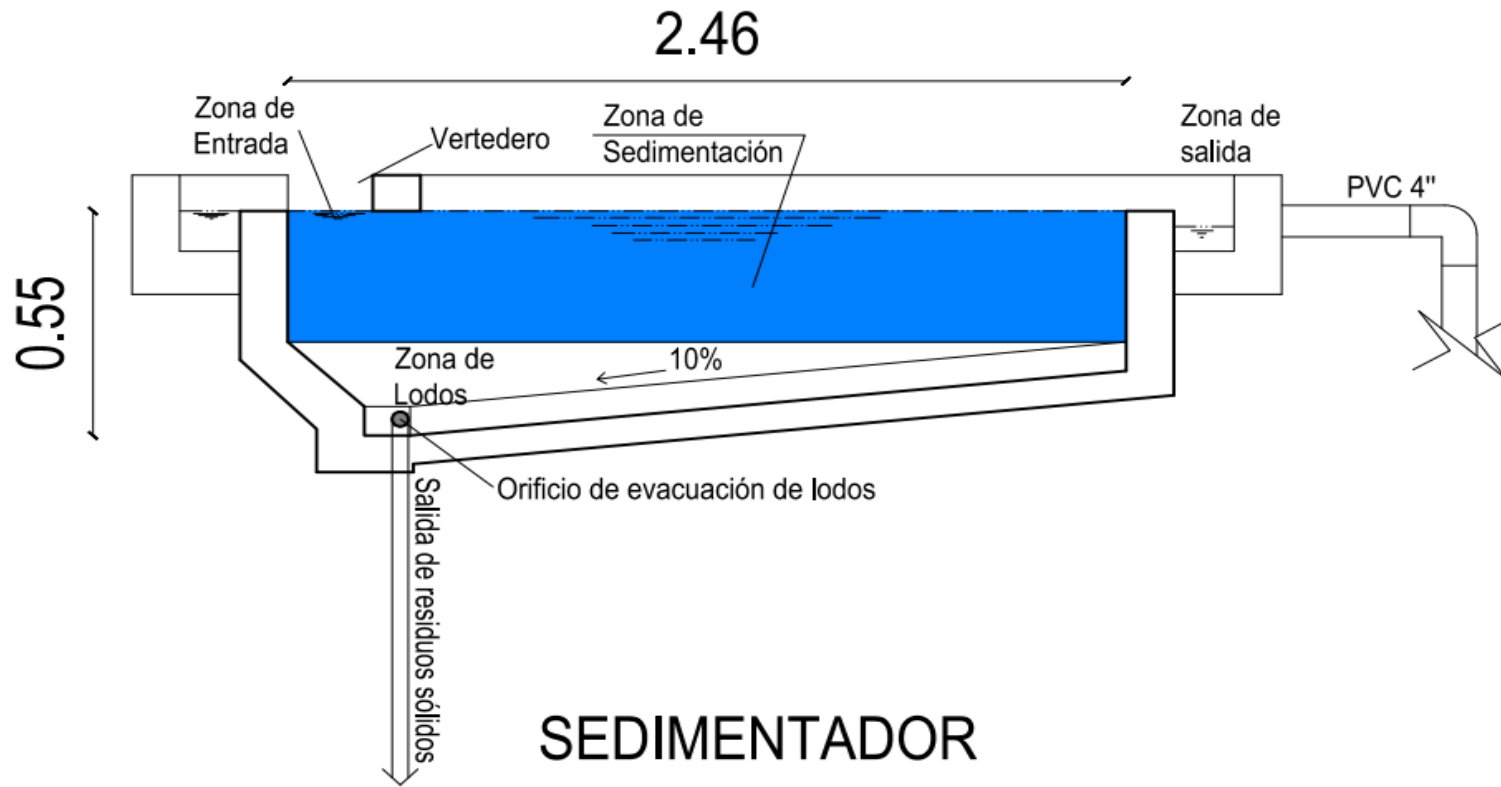
Aplicaciones Recomendadas	
Filtración de aguas de piscinas, estanques, acuarios, piscifactorías, aguas recicladas	
Tratamiento de aguas municipales e industriales, eliminación de amonio y metales pesados.	

Zeocat Soluciones Ecológicas S.L.U. C/Mossen Cirio Verdguer, 40 08460 Santa Maria de Palautordera Barcelona, España.	Tel: (9034) 80 848 2594 Fax: (9034) 80 848 3838 <a href="http://www.zeolitanatural.com">www.zeolitanatural.com</a> <a href="http://www.zeocat.es">www.zeocat.es</a>
---	--

### Vida de la Zeolita Natural

La zeolita natural es una materia resistente capaz de aguantar muchos lavados. Hemos comprobado que su rendimiento queda inalterado durante tres años como mínimo, y eso corresponde a la vida media de un filtro de arena. No obstante, la Zeolita natural puede durar mucho más tiempo de uso: 5, 8 e incluso hasta 10 años.

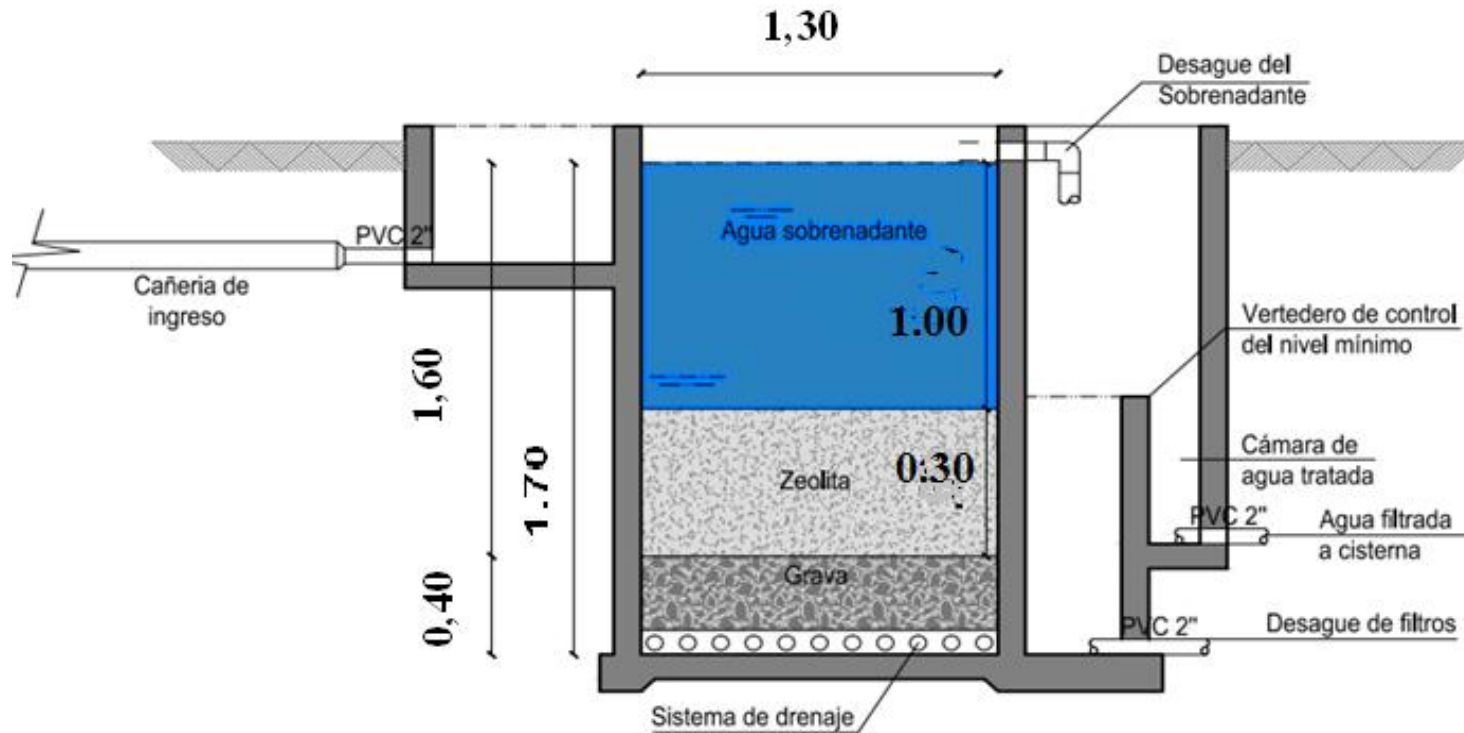
## ANEXO N. SEDIMENTADOR



# SEDIMENTADOR

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	SEDIMENTADOR		
A. VISTA EN CORTE DEL TANQUE SEDIMENTADOR	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBARR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA KAREN ALVARADO	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	A4	2016-03-21

## ANEXO P. TANQUE DE FILTRACIÓN

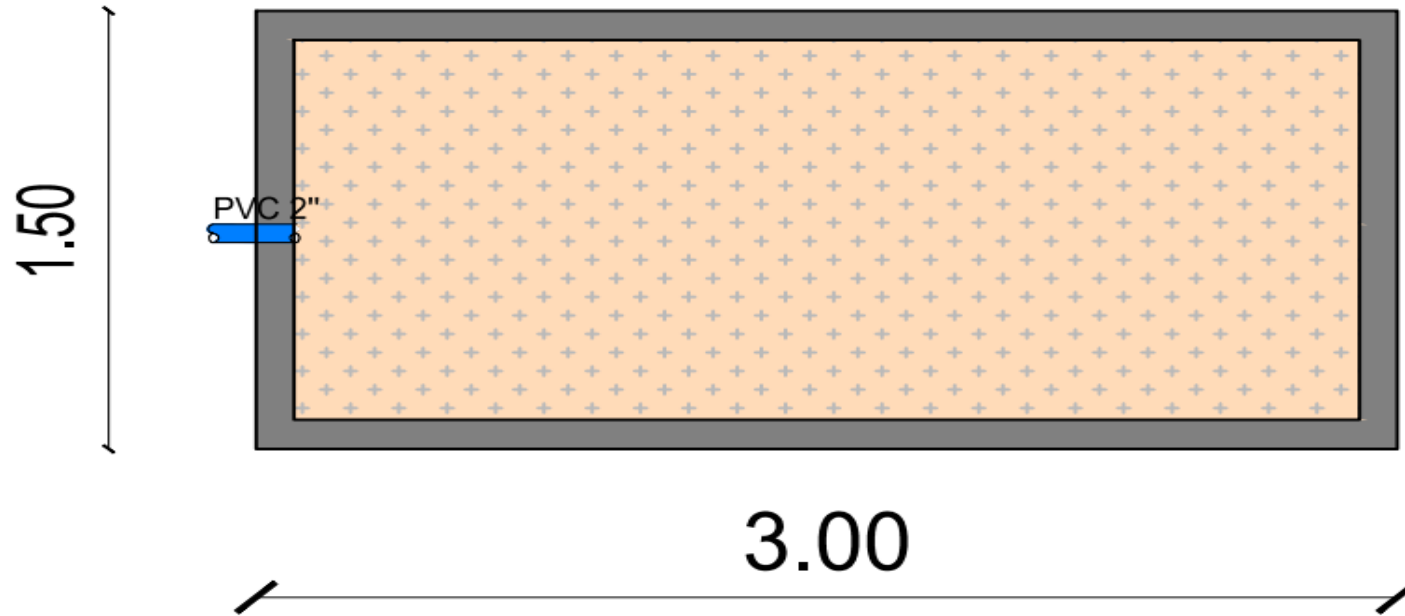


### TANQUE DE FILTRACION

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	TANQUE DE FILTRACIÓN		
A. VISTA EN CORTE DEL TANQUE DE FILTRACIÓN	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA KAREN ALVARADO	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			2	A4	2016-03-21



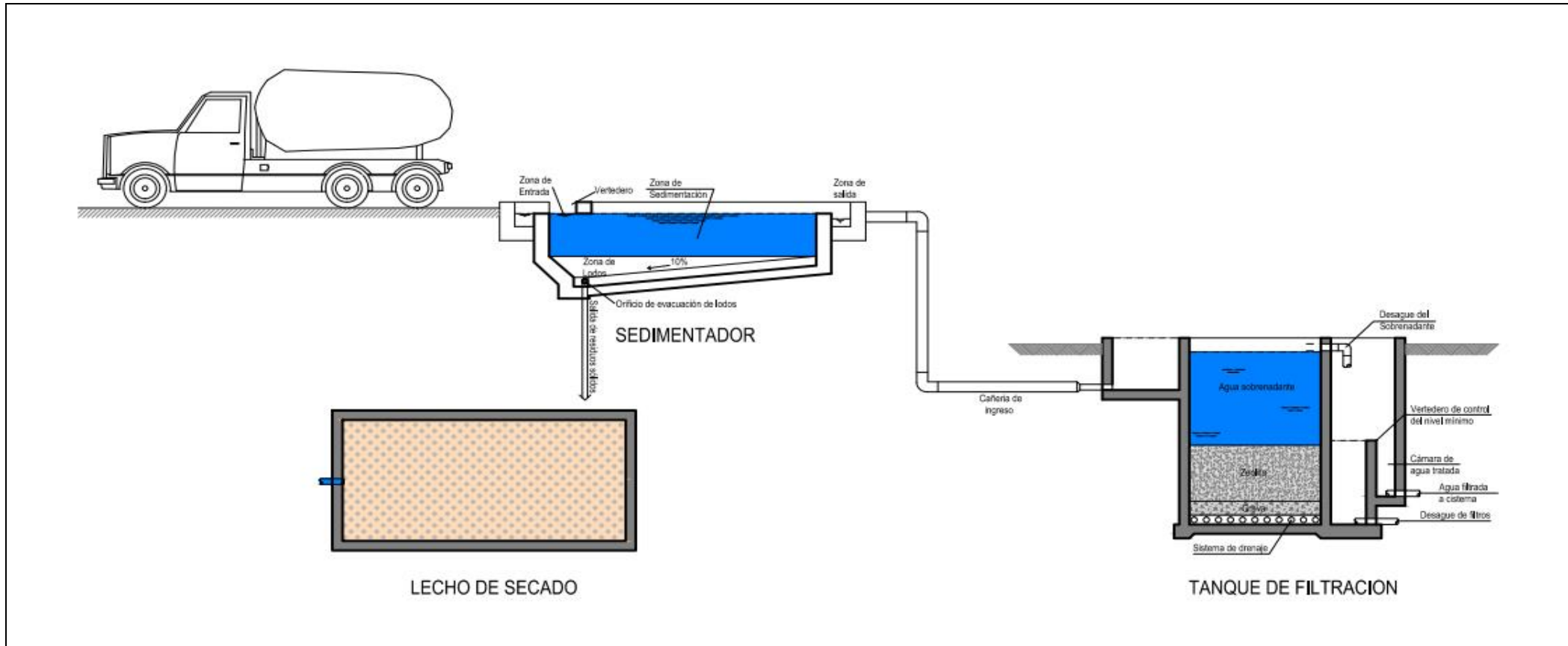
ANEXO Q. LECHO DE SECADO



LECHO DE SECADO

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	LECHO DE SECADO		
A. VISTA EN CORTE DEL LECHO DE SECADO	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA KAREN ALVARADO	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			3	A4	2016-03-21

## ANEXO R. VISTA GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	PLANTA GENERAL		
A. VISTA EN CORTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA KAREN ALVARADO	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		4	A4	2016-03-21

